



Tesis

Variabilidad de la distribución de una
sembradora en la siembra directa
y convencional de *Zea mais* L.

Maestrando **Ing. Agr. Diego Wilfredo Agnes**

Director Ing. Agr. Dr. Guido Fernando Botta

2015

INDICE

1. Introducción y antecedentes	4
1.1. Agricultura de precisión	5
1.2. Valoración de la precisión de siembra	6
1.2.1. Eficacia y eficiencia de la precisión de siembra	6
1.2.2. Control y calidad de siembra.....	6
1.3. Uniformidad en la ubicación de la semilla y respuesta del cultivo de maíz.....	6
1.3.1. Distanciamiento entre hileras de siembra	8
1.3.2. Uniformidad en la hilera	8
1.3.3. Uniformidad en la profundidad de siembra	9
1.4. Factores que afectan la ubicación final de las semillas viables	10
1.4.1 Características de la semilla a sembrar	10
1.4.2 Características de la máquina sembradora	11
1.4.2.1. Dosificación.....	11
1.4.2.2. Conducción	12
1.4.2.3. Surcado, apretado y tapado – compactado.....	13
1.4.3. Características del ambiente y forma de trabajo	14
1.4.3.1 Cobertura de rastrojo	14
1.4.3.2 Velocidad de trabajo	15
1.4.3.3 Vibración de la máquina sembradora	16
2. Justificación.....	16
3. Objetivos	18
3.1. Objetivo direccional.....	18
3.2 Objetivos operacionales	18
4. Hipótesis.....	18
5. Materiales y Método.....	19
5.1. Materiales	19
5.2. Método	20
5.2.2 Variables respuesta.....	20
5.2.2.1. Evaluación de la uniformidad de distribución de semillas y de plantas emergidas	21
5.2.2.2. Evaluación de la uniformidad de emergencia y eficiencia de implantación	22
6. Resultados	23
6.1. Análisis de la semilla	23
6.2. Distribución de semillas	25
6.2.1 Estadística descriptiva de la distribución de semillas.....	25
6.2.2 Histograma de distribución de semillas	26
6.3 Distribución de plántulas emergidas.....	28
6.3.1 Grillas de distribución de plántulas emergidas	28
6.3.2 Calidad de siembra según norma ISO 7256/1–1984(E) y según la propuesta de Kachman y Smith (1995)	30

6.3.3 Histogramas de distribución de plántulas emergidas.	32
6.4 Probabilidad en la ocurrencia de duplicaciones y fallos en la distribución de semillas y plántulas emergidas.....	39
6.5 Emergencia del cultivo y eficiencia de implantación	40
7. Discusión	41
7.1 Caracterización de la semilla y efecto de los conjuntos dosificadores	41
7.2 Variabilidad en la distribución de semillas lograda en la regulación de la sembradora	42
7.3 Variabilidad en la distribución de plantas logradas a la emergencia del cultivo	43
7.4 Emergencia del cultivo.....	47
8. ConSIDERACIONES FINALES	48
9. CONCLUSIONES.....	48
10. Bibliografía	49

RESUMEN

La operación de los equipos de siembra implica manejar diversas variables las que, con distinto grado de ponderación, afectan la uniformidad de distribución de semillas y de plántulas emergidas. Ha sido estudiado como la uniformidad de la distribución de plantas de un cultivo afecta al rendimiento, si bien los resultados no han sido concluyentes se ha podido relacionar la uniformidad espacial con el manejo sanitario del cultivo, es especial con el control de malezas. La uniformidad espacial es el resultado de una serie de eventos que ocurren a lo largo de la siembra – emergencia de un cultivo. Los eventos a considerar y el análisis de los resultados son diferentes si se analiza la distribución de semillas o de plántulas emergidas. Las dos metodologías usuales para la valoración de la calidad de siembra son la norma ISO 7256/1 – 1984(E), para el caso de semillas; y la metodología propuesta por Kachman y Smith (1995) para plántulas emergidas. Si bien ambos métodos muestran los mismos índices de calidad, la forma de cálculo es diferente. Esta diferencia no suele ser tomada en cuenta cuando se realiza evaluaciones de la operación de siembra o se comparan resultados de diferentes ensayos. Variables de incidencia comunes a ambos métodos son las características orgánicas, de regulación y de operación del equipo. En este trabajo se evaluó como la presencia o no de un accesorio asentador de semilla, tipo rueda, en el tren de siembra afecta la uniformidad de distribución de plántulas emergidas de maíz a dos velocidades de operación y en dos regímenes de labranza. Esta evaluación se realizó para cada uno de los cuerpos que conforman la máquina sembradora y se contrastaron con los resultados de la uniformidad de semillas obtenida al momento de la regulación dinámica de la sembradora. Los resultados permiten vislumbrar un comportamiento diferente de los cuerpos sembradores en ambos regímenes de labranza y la importancia de contar con el accesorio asentador de semillas cuando se incrementa la velocidad de operación en condiciones de siembra directa. Se halló que el diseño de las sembradoras de directa genera alteraciones en la distribución de plantas cuando se la utiliza en un suelo con laboreo previo, esto en forma independiente al alistamiento del asentador de semilla. Se destaca los diferentes resultados que se lograron al evaluar la distribución de semillas o la de plántulas emergidas, dando por consiguientes distintas valoraciones de la calidad de siembra.

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

1.1. Agricultura de precisión

En la actualidad es ampliamente conocido que diferencias en las características de los suelos agrícolas, a nivel de parcela, generan una respuesta diferente en el rendimiento del cultivo implantado. En éste ámbito se desarrolló la agricultura de precisión, de la cual hay varias definiciones e interpretaciones, pero que puede definirse, a partir de todas las citadas en la bibliografía, como el conjunto de tecnologías que permiten gestionar la aplicación de diferentes dosis de insumos agrícolas dentro de un mismo lote dividido en unidades homogéneas de requerimientos o potencial productivo.

La tecnología de agricultura de precisión se introdujo en Argentina, al igual que en Estados Unidos, por medio de herramientas como el monitoreo de rendimiento y los banderilleros satelitales, dado que presentan beneficios que son rápidamente demostrables (Bragachini *et al.*, 2002a).

Demarcar ambientes homogéneos es una realidad compleja, dado que los sistemas agropecuarios, al estar compuestos por un numeroso conjunto de elementos interrelacionados entre sí, presentan una alta variación espacial, la cual se incrementa cuando se pretende determinar sitios específicos con mayor grado de homogeneidad. La causa de esta variación son las interacciones de tres posibles fuentes: (1) naturales, como el suelo y la topografía; (2) aleatoria, como el clima, y (3) el manejo, como la decisión de aplicar una determinada dosis de fertilizante o densidad de siembra (Hatfield, 2000).

La caracterización y delimitación de los distintos ambientes, en una unidad de explotación, se puede realizar en base a factores ambientales de los cuales se conoce la forma en que éstos inciden en el rendimiento del cultivo. Una segunda forma es tomar indicadores de calidad ambiental, como es el propio rendimiento. Con ambas formas se busca determinar ambientes homogéneos dentro del lote, y los valores mínimos de variabilidad ambiental que generen variación en los rendimientos, de manera de poder implementar pautas de manejo específicas para cada situación.

Independientemente de la forma de caracterizar ambientes homogéneos se presenta un segundo problema: las herramientas que se utilizan deben poseer un grado de precisión acorde al requerido. Esto es, lograr que cada componente del equipo agrícola responda con un grado de precisión aceptable y uniforme ante las variaciones ambientales que se van presentando a lo largo de una labor. Pero en este punto cabe una aclaración, todas las experiencias en siembra y fertilización, dentro de la agricultura de precisión, tratan de mostrar la adaptabilidad de los equipos a las variaciones ambientales a lo largo de la línea de avance, pero no se ha incurrido en experiencias que impliquen el análisis de la respuesta a la variabilidad del suelo en forma transversal al avance de las máquinas.

Un tercer problema, en la aplicación de insumos variables, es mencionado por Maleki *et al.* (2008), el cual se refiere al período de tiempo que transcurre desde que un sensor releva un dato ambiental y se produce la deposición del insumo por la máquina. Las dosis de insumos pueden ser modificadas con un tiempo considerable de retraso, debido a que se requiere de un tiempo finito para que una información sea recopilada, procesada e informada a quien realice la modificación en los mecanismos involucrados en la variación de la dosis del insumo. Y aún después, se debe tener en cuenta la reacción de la máquina y la velocidad del flujo del insumo. Estos mismos autores citan que este lapso de tiempo entre la adquisición del dato y la aplicación del insumo está influenciado por la posición del sensor y la velocidad de operación.

A lo anterior hay que sumarle la inconstancia de respuesta para cada una de las múltiples interacciones de los diversos factores que intervienen en esta labor, siendo, en la gran mayoría de los casos, desconocida, y cuando se tiene un valor estimativo de ella, es posible que no se conozca con precisión el, o los, factores que están incidiendo, lo que impide jerarquizar problemas o déficit tecnológicos para implementar las medidas correctivas pertinentes.

Un cuarto problema es que para implementar con éxito la agricultura de precisión, se requiere manejar el mayor caudal de información posible (Tschiedel y Ferreira, 2002), y esta información deber ser accesible y estar al alcance cognitivo de quien emplee ésta herramienta tecnológica.

Con todo esto se trata de tener el mayor control para lograr la calidad de siembra deseada, y al mismo tiempo hacer que el manejo diferencial por ambientes sea justificado económicamente.

1.2. Valoración de la precisión de siembra

Cuando se presenta una labor o herramienta como “precisa”, muchas veces se toma a ésta característica como sinónimo de exactitud, lo cual es un error. La precisión lleva implícita una variabilidad, la cual en ocasiones es de difícil determinación y lleva a que se ignore o se estime en forma errónea. Tener una máquina que realice una labor con precisión es tener conocimiento de las variaciones alrededor de un valor central a lo largo de un período de tiempo. Para Smith (1967) la precisión de una sembradora depende de la uniformidad de los granos, de la forma del fondo de la tolva, de la velocidad de la placa, de la estructura y tamaño de los alvéolos y de la cantidad de grano existente en la tolva.

Por exactitud podemos entender al sesgo de una medición respecto al valor real. En el caso de la siembra, es cuán lejos quedó depositada una semilla respecto al lugar teórico donde debería haber quedado.

Ambas propiedades, precisión y exactitud son independientes, por lo cual la operación de siembra será de mejor calidad cuando mayor sea su exactitud y su precisión.

1.2.1. Eficacia y eficiencia de la precisión de siembra

Eficacia y eficiencia son términos que suelen usarse indistintamente para juzgar el desempeño en el uso de una herramienta, metodología o realización de una labor. Dado que unos de los problemas de la agricultura de precisión es lograr justificarla económicamente, es que pueden tomarse de esta área las acepciones para estos dos vocablos. Según Arce (1999) se entiende por eficacia el logro de un rendimiento utilizando de la mejor manera los recursos disponibles, y por eficiencia el logro de una productividad mediante el buen uso de recursos tecnológicos de última generación. Según este autor se puede ser eficaz sin ser eficiente, pero nunca puede ocurrir lo contrario.

1.2.2. Control y calidad de siembra

Un proceso bajo control es aquel donde la variación de los datos alrededor de un valor central es aleatoria (Mendenhall, 1988). Ésta definición, tomada de la estadística, es incompleta para aplicarla a la labor de siembra en el marco de la agricultura de precisión. Debe ser complementada con un enunciado que indique un juicio de valor en cuanto a los valores medios y desvíos de la distribución. La estadística llama a esto: calidad. El concepto de calidad tiene múltiples acepciones, pero en forma general se puede decir que es una apreciación subjetiva de una o varias propiedades inherentes a un objeto, que permiten su comparación con otro objeto real o ideal de su misma especie.

Lograr una siembra de calidad es conseguir que la diferencia entre la cantidad de plantas posibles de obtener y las emergidas, sea mínima, la distancia entre ellas uniforme y el tiempo transcurrido para emerger el mínimo para el conjunto de la población (Maroni *et al.*, 2001).

Lo planteado en el párrafo anterior incide con fuerza en la empresa agropecuaria, dado que asegurar la calidad de siembra tiene como objetivo maximizar el beneficio económico de un cultivo, y por ende, de la empresa. Éste objetivo se puede descomponer en dos componentes: el primero es minimizar el costo de ésta labor cultural, y el segundo, es participar en la generación del stand de plantas inicial que maximice el rendimiento en función de las condiciones agroecológicas del sitio de implantación.

1.3. Uniformidad en la ubicación de la semilla y respuesta del cultivo de maíz

Los principales cultivos sembrados en los sistemas productivos extensivos de la región pampeana son trigo, soja, maíz y girasol; presentando la siembra de estas especies características diferentes. Para la siembra de las semillas de trigo la dosificación de semillas es continua. A este tipo de máquina se la denomina “sembradora a chorrillo” o “de granos finos”. La siembra de los cultivos de maíz y girasol se realiza mediante un tipo de siembra que suele denominarse

“siembra de precisión”, donde las semillas son dosificadas de una en una, siendo la entrega de éstas discontinua. A la máquina que realiza este tipo de siembra se la denomina “sembradora de grano grueso” o “monograno”.

La siembra de las semillas de soja se puede realizar, en la actualidad, con las sembradoras denominadas como “de grano fino”, dado que los valores en las recomendaciones de densidades de siembra, han ido incrementándose de forma sustancial, hasta indicarse densidades superiores a las 30 semillas de soja por metro. A partir de este valor se debe considerar a la dosificación como a chorrillo, con independencia del dosificador utilizado (Maroni y Madera, 1990).

La ubicación de una semilla depositada en un surco de suelo, a un distanciamiento de sus vecinas y profundidad preestablecidas, es el resultado de una sucesión de eventos, de los que participan los distintos elementos de la sembradora. Esta distinción no es meramente orgánica, sino que lo es también desde el punto de vista del tratamiento que éstos otorgan a la semilla. Por lo tanto, el principal criterio para la evaluación de una máquina sembradora es valorar la población de plantas establecidas, que está influenciado por el trabajo de cada uno de los elementos que conforman la sembradora (Maleki *et al.*, 2006)

La elección de sembrar sobre un suelo preparado con labranza o en un suelo bajo siembra directa, puede tener implicancias en el logro de la uniformidad espacial de plantas en un cultivo determinado. En siembra directa, el espacio entre semillas contiguas en la línea de siembra es a menudo más variable, y por ende menos preciso, que el logrado en siembra convencional (Baker *et al.*, 2002)

La distribución de las plantas de un cultivo sobre una superficie dada (el arreglo espacial), está dada por el distanciamiento de éstas en la hilera de siembra, y por la distancia entre hileras. Para los cultivos de grano la primera distancia suele ser mayor que la segunda. El arreglo espacial de un cultivar puede ser descrito mediante la rectangularidad, que surge de realizar el cociente entre distancia entre hileras y la distancia entre plantas en la hilera. La respuesta del rendimiento a una mayor rectangularidad no es del todo clara, dado la existencia de casos contradictorios para diferentes genotipos y ambientes (Satorre *et al.*, 2004)

Un arreglo espacial uniforme sugiere que a cada planta del cultivo se le asigna un volumen de suelo semejante al de sus vecinas. Este volumen está determinado: por la profundidad de exploración de las raíces, que es función de la especie y de la fertilidad física y química del suelo, y por una superficie dada por el distanciamiento entre hileras y el distanciamiento entre plantas dentro de la misma línea de siembra.

Los objetivos de los diferentes arreglos espaciales son, en primer lugar, minimizar la competencia intraespecífica e interespecífica por agua, luz solar y los nutrientes del suelo, lo cual es condición necesaria para no afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo que puede generar individuos dominados.

La eficiencia de implantación es una medida de resultado que complementa al valor de densidad de plantas logradas, dado que caracteriza el buen uso del insumo semilla. Como tal, solo hace referencia al número de plantas por una unidad de superficie, y no aporta a la valoración de la distribución espacial interna del *stand* de plantas, ni a su uniformidad temporal.

La uniformidad temporal puede caracterizarse al cuantificar los días requeridos para la completa emergencia del cultivo, entendiéndose a ésta al momento en donde no se observan nuevas plantas emergidas. El día medio a emergencia constituye una metodología para la puesta en evidencia de esta característica. Un cultivo donde se logre el número final de plantas en menos tiempo presentará crecimiento más uniforme, y esto es lo que califica el día medio a emergencia, por lo que no se generarán individuos dominados, y no se presentarán diferencias en el desarrollo fenológico. Nafziger *et al.* (1991) muestran resultados para el maíz, donde una diferencia de dos semanas entre la emergencia de las primeras plantas y las últimas genera una pérdida en el rendimiento, que no justifica una resiembra. Pero, si ese retardo es de tres semanas y afecta al 25% de la población, entonces deberá plantearse la posibilidad de efectuar una resiembra del cultivo, lo cual generará un incremento del 10% en el rendimiento. Como citan estos autores, se deberá analizar si ese incremento justifica el costo de la resiembra.

Eficiencia de implantación y día medio a emergencia, son dos resultados que deben leerse uno como complemento del otro. Ambos, son valores promedios para un determinado sitio, por lo

que su uso en la agricultura de precisión requiere el cálculo de ambos para cada sitio específico que se delimite.

Utilizando estos índices, Karayel (2009) concluye que la ubicación de la semilla en el suelo afecta al día medio de emergencia y la emergencia de plantas. Además, cita que los mejores resultados en porcentaje de emergencia de plantas y menor día a emergencia para el cultivo de maíz, ocurre cuando la siembra directa se realiza a bajas velocidades ($3,6 \text{ km.h}^{-1}$ y $5,4 \text{ km.h}^{-1}$), y se utiliza un surcador del tipo de doble disco.

En un trabajo de Kühnberg (1968) (citado por Bufton *et al.*, 1974), se enuncian los eventos durante los cuales ocurren alteraciones en el espaciamiento entre semillas:

1. Dosificación, donde hay daño a la semilla.
2. Conducción, donde se genera una modificación en la entrega de semillas, y un aumento al daño de ésta.
3. Proyección, según sean las características de las semillas éstas pueden seguir diferentes trayectorias.
4. Impacto sobre la superficie del suelo, que genera desplazamiento por rebote y rodado de las semillas.
5. Cubrimiento y asentamiento de la semilla, donde el desplazamiento puede ocurrir por el movimiento del suelo.
6. Germinación y emergencia, que generan una pérdida aleatoria de las semillas.

1.3.1. Distanciamiento entre hileras de siembra

La decisión de optar por un determinado distanciamiento entre líneas obedeció tradicionalmente a factores de manejo, como han sido el pasaje de alguna herramienta para el control mecánico de malezas, o de equipos pulverizadores para la protección de los cultivos.

En la actualidad, el distanciamiento entre hileras de siembra responde principalmente a factores genéticos y ambientales. Desde el punto de vista de la sembradora, esta variable es manejada con la posibilidad de variación en la separación entre cuerpos. En este sentido, Fey y Fey (2001) evaluaron la influencia en el rendimiento para el cultivo de maíz utilizando tres espaciamientos entre hileras (0,47, 0,70 y 0,90 m) con tres poblaciones de plantas (50.000, 60.000 y 70.000 plantas.ha⁻¹). Estos autores concluyen que la reducción en el espaciamiento entre hileras a 0,47 m reduce significativamente el rendimiento, mientras que entre las tres poblaciones de plantas no hubo diferencias significativas en el rendimiento.

La uniformidad en la distribución de semillas en la línea de siembra también puede verse afectada. Bozdoğan (2008) al evaluar la precisión en la distribución de semillas de maíz por tres sembradoras con dosificación neumática, preparadas con tres distanciamientos entre cuerpos (14, 18 y 21 cm) y operando a cuatro velocidades ($1,8$; $3,6$; $5,4$ y $7,2 \text{ km.h}^{-1}$) concluye que las mejores combinaciones, en cuanto a mayor índice de calidad y menor índice de fallos, son la separación a 18 cm entre cuerpos operando a $1,8$ y $3,6 \text{ km.h}^{-1}$.

1.3.2. Uniformidad en la hilera

La uniformidad en el espaciamiento real entre semillas es por lo general diferente con respecto al suministrado por el manual del fabricante de la máquina sembradora de precisión, lo cual puede ser debido a varios factores: velocidad de la sembradora, presión de inflado de los neumáticos, deslizamiento de la rueda motriz de la sembradora, condiciones del mecanismo dosificador y tamaño del alveolo de la placa de semilla (Breece *et al.*, 1992)

De todas formas, existen antecedentes dispares sobre el efecto de la uniformidad del *stand* de plantas sobre el rendimiento del cultivo de maíz.

Entre los autores que resaltan la importancia de la uniformidad se hallan: Delafosse (1986) quien señala que para los cultivos que se siembran en hilera, el rendimiento es afectado por la

distribución del espaciamiento dentro y entre la hilera y por la población de plantas por hectárea. Nielsen (1993) en un ensayo a campo a lo largo de los estados de Indiana y Ohio (Estados Unidos), entre los años 1987 – 1993, concluye que se pierden 168 kg.ha^{-1} en el rendimiento de maíz por cada 2,54 cm de aumento en la desviación estándar del espaciamiento entre plantas.

Lauer y Rankin (2004) analizando la respuesta en el rendimiento de maíz a la variación en el espaciamiento en la línea de siembra, para dos densidades (37.000 y $74.000 \text{ pl.ha}^{-1}$) proponen un modelo que atribuye una disminución del 1,06% por cada centímetro de aumento en el desvío estándar, cuando éste es mayor a 12 cm. Es de destacar que estos autores plantean su modelo solo para la densidad mayor, dado que solo en este caso encontraron una correlación significativa ($R^2 = 0,57$) entre el rendimiento y la variación en el distanciamiento en la línea de siembra.

Por el contrario, Liu *et al.* (2004a), trabajando en un ensayo con un cultivo de maíz cuya densidad fue de $67.000 \text{ pl.ha}^{-1}$, concluyen que una moderada variabilidad en el espaciamiento entre plantas (desvío estándar entre 2,5 a 17,5 cm) no es causa de una severa competencia entre éstas, tal que afecte el crecimiento y rendimiento del cultivo, incluso si hay retrasos en la emergencia. Es a la variabilidad en éste último factor, al que le atribuyen la responsabilidad sobre el rendimiento.

Liu *et al.* (2004b) en un ensayo de dos años en siembra convencional de maíz, realizado en dos localidades de Ontario, Canadá, concluyen que la relación entre el rendimiento y la variabilidad en el espaciamiento entre semillas en la línea de siembra, medida a través del desvío estándar, fallos y duplicaciones es insignificante, por lo que el perfecto espaciamiento no genera un beneficio en cultivos comerciales.

Estas respuestas contrastantes en el rendimiento, a la variabilidad en el espaciamiento entre plantas en la línea de siembra, pueden ser consecuencia de la intervención de factores genéticos (Andrade y Abbate, 2005). Al respecto, Maddonni *et al.* (2001), informan sobre la capacidad de algunos híbridos de maíz en la reorientación de las hojas hacia los espacios libres en el surco y en el entresurco.

1.3.3. Uniformidad en la profundidad de siembra

La uniformidad de distribución no solo implica el distanciamiento superficial entre semillas descargadas por la máquina, sino que también debe tenerse en cuenta la variación en la profundidad de siembra.

Las diferentes ubicaciones de las semillas en profundidad generan que éstas se encuentren con diferentes ambientes edáficos, los cuales al ser disímiles entre sí, y/o al óptimo para la germinación y emergencia, puede llevar a la desuniformidad en la emergencia tanto espacial como temporal.

Para Merotto Júnior *et al.* (1999) la desuniformidad en la emergencia del cultivo de maíz tuvo como consecuencia una disminución en el rendimiento, para distintas densidades (40.000 , 60.000 , 80.000 y $100.000 \text{ pl.ha}^{-1}$)

Según Bragachini *et al.* (2002b) la semilla de maíz debe colocarse a una profundidad de entre 2,5 cm a 5 cm. Si la semilla es localizada a excesiva profundidad no recibe oxígeno para germinar, o bien si germina puede agotar las reservas antes de emerger. Si en cambio se coloca demasiado superficial existe el riesgo de que el suelo se seque antes de germinar, o bien no se establezcan las raíces y la plántula se seque o tenga un pobre arranque.

Morrison y Gerik (1985) muestran que la ubicación de los órganos limitadores de profundidad afecta la profundidad de siembra, su desvío estándar y el número de plantas logradas en la siembra directa de un cultivo de maíz. En su ensayo, regulada la sembradora para una profundidad de siembra de 38 mm, la ubicación de las ruedas limitadoras por detrás de un surcador doble disco logra la mayor profundidad y el mayor desvío estándar ($43,3 \text{ mm} \pm 11,3 \text{ mm}$) respecto a las demás ubicaciones de las ruedas limitadoras: por delante del surcador ($37,3 \text{ mm} \pm 9,3 \text{ mm}$); por delante y por atrás vinculadas por un brazo ($35,7 \text{ mm} \pm 7,5 \text{ mm}$) y a los costados del doble disco ($34,1 \text{ mm} \pm 7,9 \text{ mm}$). Todas las profundidades medias difirieron significativamente entre sí; para el caso de los desvíos, las últimas tres ubicaciones no presentaron diferencias significativas entre ellas, pero sí lo hicieron respecto a la primera ubicación. Respecto a la población final de plantas de maíz, la ubicación más desfavorable es a los costados del ór-

gano surcador doble disco. Las ubicaciones óptimas, según estos autores, serían atrás del surcador, o adelante y atrás del surcador vinculadas por un brazo. La ubicación de las ruedas limitadoras por delante del doble disco presenta resultados intermedios. Es de destacar, que cuando se ensayan estas ubicaciones en la siembra de sorgo no se encuentran diferencias significativas.

Chen *et al.* (2004) en un ensayo de siembra directa de maíz sobre un rastrojo de alpiste, no hallan diferencias significativas en la media ni en el desvío estándar de la profundidad de siembra, al utilizar un tren de siembra sin ruedas limitadora y compactadora y otro sin este último accesorio.

Karayel (2009) al comparar un surcador fijo tipo bota, “hoe”, y un surcador de doble disco, en un trabajo de siembra directa de maíz y soja con dosificación neumática, encuentra que incrementos en la velocidad de trabajo dentro de un rango de 1 a 2 m.seg⁻¹, generan una disminución en la profundidad de siembra con un aumento en el coeficiente de variación, presentándose los menores valores para el primer tipo de surcador en todas las velocidades analizadas.

Para la siembra de maíz en suelos labrados con una secuencia de arado de cincel y rastra de doble acción, Özmerzi *et al.* (2002) aportan resultados que muestran, para una profundidad regulada de siembra de 40 mm una mayor variabilidad, medida ésta en términos del coeficiente de variación, respecto a las logradas a 60 y 80 mm. De todas formas, los valores medios conseguidos fueron muy cercanos a los predeterminados para cada tratamiento.

Tesouro *et al.* (2009) al evaluar las características de la siembra de maíz en la zona de Pergamino, concluyen que la desuniformidad de la profundidad y del crecimiento de la parte aérea fueron de magnitud reducida por lo cual, puede considerarse que no resultaron factores críticos para el establecimiento del cultivo y dificultaron la detección de un mayor número de asociaciones significativas con las variables de la siembra.

1.4. Factores que afectan la ubicación final de las semillas viables

1.4.1 Características de la semilla a sembrar

Una máquina sembradora debe tratar a la semilla de forma tal de no alterar negativamente su viabilidad, y al mismo tiempo, debe colocar la semilla en un volumen de suelo con características tales que no se vea impedida su germinación y emergencia (Srivastava *et al.*, 1993). La viabilidad de la semilla puede verse afectada, en distinto grado, en los conjuntos de dosificación, conducción, y distribución. En los dos primeros hay un contacto directo entre los elementos que conforman esos conjuntos y la semilla, mientras que en el último la viabilidad puede verse afectada por el trabajo deficiente de los órganos activos y accesorios del tren de distribución.

El logro de la densidad de siembra objetivo también se halla fuertemente influenciado por una variabilidad intrínseca de la semilla a sembrar en cuanto a su capacidad para generar una plántula, la cual es cuantificable mediante la determinación de su valor cultural. Este índice califica a la semilla a sembrar en cuanto a su calidad real. En su cálculo interviene el poder germinativo y la pureza de la semilla.

Los tratamientos fitosanitarios de semillas también pueden aumentar los casos de fallos y descargas múltiples. Jasper *et al.* (2006a) logran con el agregado de 3,37 kg de grafito por kilogramo de semilla de maíz, contrarrestar la desuniformidad en la distribución de semillas en la línea de siembra sin que se vea afectada la germinación.

La forma geométrica de la semilla también ha sido motivo de investigación. Kepner *et al.* (1982) cita como uno de los principales requerimientos para el logro de precisión en la siembra monograno, que las semillas que tengan una forma preferentemente esférica. Jasper *et al.* (2006b) estudiaron si existe una selección de semillas de maíz por tamaño cuando se utiliza un dosificador mecánico de placa alveolada horizontal, lo cual generaría una alteración en la calidad de la distribución longitudinal y aumento en los daños mecánicos de la semilla. Sus resultados no permiten aceptar su hipótesis de trabajo, pero muestran que el uso de semillas con geometría más “redondeada” resulta en menores valores de fallos o duplicaciones frente al uso de semillas de forma “achatada”.

La geometría redondeada se puede cuantificar mediante la utilización de un índice de esfericidad, como es el citado por Mohsenin (1986). Éste índice toma valores comprendidos entre 0 y 1, siendo 1 una forma perfectamente esférica. Karayel *et al.* (2004) encuentran para dos híbridos de maíz esfericidades de 0,80 y 0,66. Otros autores como Coskun *et al.* (2006) han reportado valores de 0,615 a 0,635, y destacan que este índice se incrementa con el aumento en la humedad del grano. Lo mismo indican Aydin *et al.* (2002) y reportan valores de esfericidad de 0,841 a 0,867 según contenido de humedad del grano.

No hay citado en la bibliografía un valor de esfericidad límite para la semilla de maíz, por debajo del cual se vea afectado el buen funcionamiento de los conjuntos dosificadores mecánicos de placa alveolada. Pero se supone que una semilla más redonda tiene una mejor facilidad para alojarse en un alvéolo, dado que presentaría una mejor fluidez dentro del lecho de semillas contenido en la tolva.

1.4.2 Características de la máquina sembradora

El logro de un determinado espaciamiento entre plantas, depende tanto de la eficiencia de implantación como del trabajo de la sembradora, y el logro de una uniformidad en el distanciamiento entre semillas está generalmente relacionado con la forma en que éstas llegan al surco de siembra, y también con la velocidad de avance del equipo (Fornstrom y Miller, 1989). Más específicamente, el conjunto dosificador, el tubo conductor, el tipo de surcador, las características de la semilla y las del suelo afectan a la viabilidad y a la distribución de las semillas, tanto en lo que hace a su ubicación en la línea de siembra, como a su ubicación en profundidad (Karayel y Özmerzi, 2007). A éstos deben agregarse el patinamiento de la rueda motriz, y, en siembra directa, el efecto de los accesorios labrasurcos del tren de distribución.

También la forma en que la máquina sembradora ubica las semillas en la línea de siembra, está determinada por la regulación efectuada en ella en forma previa al inicio de la labor. Ésta regulación está influida por la facilidad de acceso y operación de los elementos mecánicos, la sensibilidad de éstos, y la capacitación del personal involucrado. Lograda una regulación en un ensayo a campo, la cual muchas veces es una aproximación a la deseada, se aspira a que ésta se mantenga a lo largo de toda la operación, o que varíe en función de los distintos ambientes por los que transita la sembradora, característica apreciada en la agricultura de precisión.

1.4.2.1. Dosificación

Es necesario conocer, en forma previa a la siembra, el tratamiento que el dosificador otorga a la semilla dado que existe un daño mecánico visible, la rotura de semilla, y otro no visible (Tourn, 2005). Estos daños, provocados por los dosificadores de expulsión forzada, presentan magnitudes variables, y están relacionados con la especie, el cultivar, el diseño del dosificador, el material de construcción del conjunto y las particularidades de regulación, operación y mantenimiento del mismo (Tourn *et al.*, 2006).

En Argentina las máquinas sembradoras de grano grueso alistadas con conjuntos dosificadores mecánicos de placa alveolada son los más difundidos. De éstas las dos alternativas más utilizadas son: placa horizontal y placa oblicua. Independientemente del tipo de dosificador a utilizar, éstos deben presentar características que impidan variación en la dosificación monograno, ya sea por duplicaciones, fallos o alteraciones en la viabilidad de la semilla.

El primer problema a resolver en la siembra de grano grueso, es hallar el plato dosificador correspondiente a la semilla a sembrar. En maíz la uniformidad de distribución es afectada negativamente cuando se reduce el espacio libre entre semilla y alvéolo, sin que esto incurra en daño mecánico a la semilla (Dos Santos *et al.*, 2003). En este sentido, Kepner *et al.* (1982) señala que la experiencia indica que el diámetro del alvéolo debe ser un 10% mayor a la semilla más grande, y la profundidad del alvéolo debe ser aproximadamente igual al espesor promedio de la semilla.

Altos valores de giro de la placa también pueden ser responsables de que los granos no caigan correctamente dentro de las celdas (Breece *et al.*, 1992), o generar riesgos de ocasionar daño en la semilla, de manera que se vea afectada su viabilidad.

Barmington (1948) encuentra, para dosificadores monograno del tipo horizontal y vertical, una correlación negativa entre la velocidad de giro de la placa y el coeficiente de llenado de los alvéolos con semillas de remolacha azucarera, por lo que concluye que esta velocidad, y por ende la velocidad de avance de la sembradora, deberá ser aquella que permita acercarse al 100% del coeficiente de llenado. Kepner *et al.* (1972) observaron la misma tendencia con semillas de maíz y placa horizontal, pero agrega que a bajas velocidades hay más posibilidades de ocurrencia de duplicaciones en la dosificación de semillas, y que el coeficiente de llenado de los alvéolos con semillas grandes, como la de maíz, no es fuertemente afectado por velocidades menores a la velocidad que produce el 100% de llenado, por lo que recomienda mantener relativamente baja la velocidad tangencial de la placa.

A los efectos de reducir la velocidad tangencial de una placa alveolada, para una determinada velocidad de operación de la sembradora y espaciamiento entre semillas en la línea de siembra, Kepner *et al.* (1972), proponen aumentar el número de alvéolos. Esto es así, dado que para una misma cantidad de semillas por metro de surco, una placa con mayor número de celdas permite una siembra más veloz que una placa con menos alvéolos, ya que la primera no debe dar tantas vueltas para sembrar la misma cantidad de semillas en una distancia dada.

Klenin, *et al.* (1986a) realizaron un análisis del proceso de llenado de los alvéolos, reconociendo tres etapas: i. acercamiento del alvéolo a la semilla; ii. entrada de la semilla al alvéolo y iii. el acomodo de la semilla en el alvéolo. En la segunda etapa, encuentran que es posible la entrada de la semilla al alvéolo cuando la velocidad tangencial de la placa es menor o igual a la velocidad de ingreso. Ésta última disminuye al seleccionarse semilla de mayor longitud y/o espesor, menor largo del alvéolo, o al reducirse la velocidad de la semilla que está en contacto con la parte superior de la placa. Como ejemplo muestran que para una velocidad de trabajo de 9 km.h⁻¹, en la siembra de maíz y remolacha azucarera, la velocidad tangencial de la placa debe ser de 0,73 m.seg⁻¹ y 0,43 m.seg⁻¹ respectivamente. Finalmente, citan, que el acomodamiento de la semilla está fuertemente afectado por las dimensiones del alvéolo y el espesor de la semilla.

Además, un dosificador puede afectar la distribución de semillas mediante la alteración de la viabilidad. Tourn *et al.* (1996) al comparar el tratamiento otorgado a la semilla de maíz por un dosificador de placa horizontal y otro de placa vertical respecto de un testigo, hallan que ambos sistemas de dosificación provocan una disminución del poder germinativo y un incremento del porcentaje de rotura visible, respecto a un testigo sin dosificar, si bien la segunda alternativa presentó un mejor comportamiento en los parámetros evaluados.

1.4.2.2. Conducción

La función del órgano conductor es captar la semilla del dosificador y entregarla en el fondo del surco manteniendo la densidad de siembra (Breece *et al.*, 1992). El sistema de conducción más utilizado es por gravedad, donde la semilla que sale del dosificador fluye en caída libre a lo largo del tubo conductor hasta alcanzar el fondo del surco de siembra.

Conducir la semilla desde el dosificador hasta el punto de descarga en el tren de siembra, puede ser considerado una operación intrascendente, pero en una dosificación monograno, debe mantenerse en forma constante, lo que constituye una característica deseable de la máquina sembradora (Baker *et al.*, 2002), dado que puede afectar a la uniformidad de distribución a lo largo de la línea de siembra.

La caída de la semilla dentro del tubo conductor es gobernada por las leyes de la caída libre de un cuerpo. Este movimiento es afectado por las propiedades aerodinámicas de la semilla, la fricción entre semillas, el impacto con las paredes internas del tubo (rebotes), y el diseño y dimensiones de éste (Klenin *et al.*, 1986b). Kepner *et al.* (1972) señala como características deseables para un tubo conductor: corto, liso, poco diámetro y con la descarga cercana al fondo del surco de siembra.

Bernacki *et al.* (1972) comenta que una mayor variabilidad en el espacio entre semillas en el suelo se corresponde con una mayor longitud del tubo de conducción. La altura tiene importancia en la caída libre de las semillas, dado que afecta el tiempo y la velocidad de caída. El tiempo de caída aumenta cuando se producen rebotes dentro del tubo de conducción, efecto que es variable para cada una de las semillas dosificadas (Breece *et al.*, 1992). Klenin *et al.* (1986b), citan incrementos entre 1,05 y 1,15 en el tiempo de caída de semillas debido a los

factores enunciados en el párrafo anterior, y entre 1,3 a 1,45 por la apertura, conformación y cubrimiento del surco. Si bien no está explícitamente enunciado en su trabajo, se puede deducir de él que estos incrementos en el tiempo de caída son para la siembra sobre un suelo previamente laboreado. Por otra parte grandes longitudes del tubo conductor generan altas velocidades de caída, lo que tiende a incrementar el rebote y el desplazamiento de la semilla en la línea de siembra (Kepner *et al.*, 1972)

La inclinación del tubo conductor, las curvas que puede presentar y su diámetro pueden reducir la velocidad de caída o bloquear el flujo de semillas (Endrerud, 1999), y con ello contribuir a mayores tiempos de caída produciendo la aparición de fallos y/o duplicaciones en la siembra monograno. En estas alteraciones del distanciamiento entre semillas en la línea de siembra, la velocidad de avance juega un papel importante, dado que la semilla no cae desde un punto estacionario (Breece *et al.*, 1992)

Referido a lo comentado en el párrafo anterior Bernacki *et al.* (1972) citan que el ángulo de desviación del tubo conductor respecto a la vertical no debería superar los 15°. Contrariamente, Wanjura y Hudspeth (1968) al estudiar cómo es afectada la distribución de semillas de remolacha azucarera, cuando es conducida a través de tubos conductores con diferente longitud (492,96 mm y 246,48 mm), diámetro (19,05 mm y 5,135 mm) e inclinación (0°; 30° hacia adelante y 30° hacia atrás respecto a la dirección de avance), concluyen que el tubo de 19,05 mm de diámetro y con inclinación de 30° hacia atrás generó la menor variación en el espaciamiento entre semillas independientemente de la longitud.

Buften *et al.* (1974) observaron en laboratorio el desplazamiento de semillas de remolacha azucarera, nabo, lechuga y zanahoria después del impacto de éstas contra el suelo. Concluyeron que la magnitud del desplazamiento fue mínimo cuando: el ángulo de impacto estuvo comprendido entre los 75° y 85° (desplazamientos entre 3,1 y 7,2 mm); la velocidad de impacto fue baja, particularmente cuando el ángulo de impacto fue menor a 75°; las semillas fueron pequeñas y de forma irregular y la superficie del suelo fue irregular.

1.4.2.3. Surcado, apretado y tapado – compactado

La transitabilidad de una máquina sembradora es una condición excluyente para lograr el stand de plantas deseadas. El distanciamiento entre cuerpos, y dentro de ellos, el alistamiento de los órganos activos y accesorios de un tren de distribución, debe ser pensado según la condición media del lote a transitar, pero éste alistamiento debe poseer la suficiente versatilidad para mantener una uniforme distribución de semillas ante cada cambio de sitio específico del lote.

En la siembra convencional del cultivo de maíz, utilizando una sembradora alistada con un surcador del tipo fijo (*shoe*), la profundidad de siembra produce un aumento en el día medio a emergencia, y una disminución en la tasa de emergencia del cultivo, pero no afecta la uniformidad de la distribución horizontal (Özmerzi *et al.*, 2002)

En Argentina están ampliamente difundidos los órganos surcadores con movimiento giratorio, siendo el más representativo el llamado “doble disco”. Se ha encontrado que la labor de éste tipo de surcadores no es satisfactoria en condiciones de siembra directa, dado que tienen tendencia a ingresar tierra con menor contenido de humedad en el surco, y a presentar una alta variación en la profundidad de siembra, lo que resulta en una menor emergencia del cultivo (Chaudhuri, 2001)

Por otra parte, los surcadores de doble disco, pueden generar paredes laterales compactas en el surco de siembra lo cual dificulta el crecimiento de las raíces germinales, y en suelos húmedos el giro del doble disco puede tirar tierra hacia atrás en la línea de siembra, afectando la distribución de semillas (Baker *et al.*, 2002). Rosolem *et al.* (1999) midieron el crecimiento de las raíces germinales de maíz en suelos con distinto contenido de arcillas y potenciales agua entre -0,03 y -0,64 MPa, y encontraron que un valor de resistencia a la penetración de 1,3 Mpa reduce a la mitad el crecimiento de las raíces germinales adventicias, pero destaca que la raíz germinal primaria es más sensible a este parámetro del suelo.

La presión que ejercen las ruedas cubridoras – compactadoras del tren de siembra también puede tener injerencia en el establecimiento del cultivo de maíz. Prado *et al.* (2001) evaluando la velocidad de emergencia del cultivo de maíz, en un suelo labrado, encuentran que ésta variable se correlaciona directamente con cargas crecientes entre 0 y 15 kgf de las ruedas cubridoras – compactadoras.

1.4.3. Características del ambiente y forma de trabajo

1.4.3.1 Cobertura de rastrojo

En los sistemas de producción conservacionistas, la presencia de cobertura vegetal puede generar un pobre establecimiento del cultivo de maíz, y con ello, verse afectado el rendimiento del cultivo (Fallahi y Raoufat, 2008). En el caso de siembra directa, las causas de lo anterior pueden deberse a que el rastrojo ocasione que el órgano abresurco de la sembradora, no logre cortar el suelo, impidiendo depositar la semilla en una posición correcta, esto es a un distanciamiento y profundidad regulada, y además, la profundidad lograda presente una alta variabilidad (Erbach *et al.*, 1986; Raoufat y Mahmoodieh, 2005)

Se presenta la problemática del manejo del rastrojo, de manera de lograr una disminución de su volumen en la línea de siembra, para generar condiciones que repercutan en mayores rendimientos, o al menos que éstos no se vean negativamente afectados en forma ostensible.

Bahrani *et al.* (2007) al evaluar el rendimiento de un cultivo de maíz, implantado sobre un rastrojo de trigo, encuentran los mejores rendimientos cuando se incorporó entre un 25 a 50% del rastrojo, y se alistó al tren de siembra con accesorios barredores de rastrojo. Estos autores también reportan que el rastrojo no solo afecta el distanciamiento entre dos semillas consecutivas, sino que también afecta a la ubicación en profundidad, lo que puede resultar en una menor emergencia.

Para Fallahi y Raoufat (2008) el alistamiento del tren de siembra con barredor de rastrojo, en condiciones de cobertura del suelo con residuos de trigo entre 1.850 y 3.830 kg.ha⁻¹, permite mejorar, en general, la emergencia del cultivo de maíz, obteniendo los mejores resultados con los mayores volúmenes de cobertura. Estos autores también evalúan la profundidad de siembra y su variación, caracterizada esta última con el desvío estándar, la cual tiene sus menores valores con el agregado del barredor de rastrojo.

Este tipo de accesorio puede presentar interacción con la temperatura del aire de manera de afectar la emergencia en el cultivo de maíz. Vetsch y Randall (2000) en un ensayo en el hemisferio norte, hallaron que cuando la temperatura del aire fue inferior en 3,2 °C a la temperatura óptima para la emergencia del cultivo de maíz, la utilización de barredores de rastrojo mejoró en 4 días la emergencia del 50% de las plantas del cultivo, cuando el rastrojo era de maíz, y en 2 días cuando el rastrojo fue de soja. Con temperaturas del aire superiores a la óptima éstos autores no encontraron efecto en la utilización de barredores.

La ubicación en el tren de siembra de los accesorios barredores de rastrojo incide en la emergencia del maíz. Tourn *et al.* (2003) hallaron que el alistamiento del barredor de rastrojo delante de la cuchilla labrasurco tuvo un mejor efecto, en términos de la emergencia del cultivo, cuando se lo comparó con un tren de siembra alistado con el barredor ubicado por detrás de la cuchilla labrasurco.

El diámetro de las cuchillas labrasurco es otro elemento a tener en cuenta cuando se evalúa la transitabilidad de la máquina sembradora por sobre una cobertura de rastrojos. Kushwaha *et al.* (1986) hallaron que cuchillas labrasurco de 360 y 600 mm de diámetro, que avanzan a 6,4 km.h⁻¹ sobre un rastrojo de trigo dispuesto transversalmente al filo y con una humedad de 8 a 11%, son las más adecuadas cuando se siembra con niveles bajos o medios de cobertura vegetal (1.000 a 2.000kg.ha⁻¹), mientras que para altos niveles de rastrojos (iguales o mayores a 5.000kg.ha⁻¹) el diámetro de cuchilla labrasurco más efectivo fue de 460 mm. Estos autores también alegan que diámetros grandes provocan un empuje del rastrojo hacia delante y hacia el suelo. Tice y Hendrick (1992) sugieren que un aumento en la velocidad de avance de una cuchilla lisa puede contribuir a un mejor corte de los residuos vegetales.

En la siembra de maíz con remoción previa del suelo también se encuentran antecedentes que analizan la distribución de las semillas. Karayel y Özmerzi (2002) sembraron maíz con una sembradora con dosificación neumática, a 6 km.h⁻¹ de velocidad de avance, y con una regulación de profundidad de siembra de 4 cm, sobre una cama de siembra preparada mediante la combinación de arado de reja y vertedera o arado de cincel, como máquinas de labranza primaria, y de rastra de casquetes esféricos y rolo (dos pasadas de ambas), o arado rotativo y rolo (dos pasadas de este último), como máquinas de labranza secundaria. Estos autores obtienen así cuatro tratamientos, de los cuales la secuencia arado de reja y vertedera más rastra de discos y rolo, es la que arroja los mayores valores de porcentaje de emergencia, mejor uni-

formidad en la profundidad de siembra, y mejor precisión en la distribución de semillas en el surco.

Mangas *et al.* (2009) en un ensayo donde evalúa la uniformidad en el establecimiento del cultivo de maíz en tres regímenes de labranza, concluye que la uniformidad de distribución de la semilla en la hilera es independiente del sistema de labranza utilizado, y que en éstos la siembra del cultivo de maíz presenta dificultades para alcanzar niveles de uniformidad que permitan calificar a la misma como de precisión, con el uso de distribuidores de plato horizontal y semilla poco calibrada. Los sistemas de labranza conservacionista permiten lograr similares niveles de emergencia a los de labranza convencional, cuando se logra conformar un tren de siembra adecuado a las condiciones del terreno y residuo presente al momento de siembra del cultivo.

1.4.3.2 Velocidad de trabajo

El incremento de la capacidad de trabajo de la sembradora, por intervención exclusiva de su velocidad, posee como condicionante a la calidad del trabajo realizado. Para Valentinuz *et al.* (2007) trabajar con bajas velocidades de avance del equipo de siembra y con bajas densidades de siembra generan mejores resultados en la uniformidad del espaciamiento entre semillas.

Esto está dado por los problemas de tener una excesiva velocidad de giro de la placa alveolada que genera los problemas de rotura y de bajo llenado de los alvéolos comentados en el punto 1.4.2.

Desde un punto de vista económico el lucro cesante debido a la disminución de la capacidad operativa al optar por la siembra a baja velocidad, puede ser compensado e incluso excedido por el incremento de la producción del cultivo, producto de una distribución espacial uniforme (Bragachini *et al.*, 2009) Por otra parte, en siembra directa de maíz, la profundidad de siembra, la emergencia y el distanciamiento entre plantas no son independientes de la velocidad de trabajo en el rango de 7 a 9 km.h⁻¹ (Amado *et al.*, 2005). Tesouro *et al.* (2009) concluyen que la velocidad de avance tuvo un marcado efecto negativo sobre las semillas aceptablemente sembradas cuando se sobrepasó los 7 km.h⁻¹, incrementando los fallos y la desuniformidad en la línea de siembra.

Liu *et al.* (2004c) estudiaron el distanciamiento entre semillas logrado con tres sembradoras, dos con surcador doble disco, teniendo una dosificador neumático y la otra dosificador mecánico de dedos, y una tercer máquina de conducción neumática con surcador mono disco, en siembra convencional y en siembra directa, y a dos velocidades de trabajo. Encontraron, un incremento del distanciamiento medio entre semillas, y de su desvío estándar, con el aumento de la velocidad de la labor; para el desvío estándar citan un valor de 0,4 cm por cada 1 km.h⁻¹ de aumento de la velocidad. Se observó que en los tratamientos realizados con la sembradora con el surcador monodisco, se produjo un incremento en los días a emergencia del cincuenta por ciento de las plantas, hecho que atribuyeron al pobre control de la profundidad de siembra de este tipo de surcador, y a la deficiente labor de cubrimiento de la única rueda tapadora con que se alistó a la sembradora.

El aumento de la velocidad del trabajo de siembra de 3 a 9 km.h⁻¹ provoca un incremento en la desuniformidad en la distribución de semillas de maíz, esto es, un aumento en el número de fallos y duplicaciones (García *et al.*, 2006). A similares resultados arribaron de Oliveira Dias *et al.* (2009) trabajando con maíz y soja a velocidades de 3,5 y 7 km.h⁻¹ y distintas densidades de siembra, destacando estos autores que esta última variable no se ve modificada significativamente por cambios en la velocidad de avance.

El alistamiento del tren de distribución con un accesorio fijo para afirmar la semilla en el fondo del surco, logra compensar el aumento del desvío estándar del distanciamiento entre semillas cuando la velocidad se incrementa en aproximadamente 1,6 km.h⁻¹; de todas formas esta mejora no se ve reflejada en el rendimiento del cultivo (Staggenborg *et al.*, 2004)

Mello *et al.* (2007) al analizar la productividad de dos híbridos de maíz, uno simple y el otro doble, que fueron sembrados a tres velocidades de avance distintas del equipo de siembra (5,4; 6,8 y 9,8 km.h⁻¹), hallaron un menor porcentaje de espaciamientos normales en ambos cultivares cuando fueron sembrados con una velocidad de 5,4 km.h⁻¹; y observaron que se presentó una mayor productividad de granos en el híbrido simple respecto al híbrido doble.

De Simone y Godoy (2008) al evaluar la calidad de implantación en maíz, utilizando una sembradora con dosificador de placa alveolada horizontal y combinando tres velocidades de avance (6,4; 7,8 y 9,2 km.h⁻¹) con dos alistamientos del tren de siembra (con y sin rueda apretadora) encontraron que al incrementar la velocidad de siembra se depositaron menos semillas y aumentó la desuniformidad (mayores desvíos estándar); la presencia de la rueda apretadora disminuyó este valor, pero no afectó al número de semillas descargadas en la línea de siembra. Estos autores, al incrementar la velocidad, encontraron una tendencia a lograr menos plantas al aumentar la densidad de siembra, pero no hallaron diferencias entre tratamientos; también obtuvieron menores profundidades de siembra con mayores desvíos, lo cual atribuyeron a la pérdida de penetración de la cuchilla labrasurco utilizada (*bubble*). Con respecto a los rendimientos, éstos fueron menores en los tratamientos con la mayor velocidad.

Karayel (2009) en siembra directa de maíz sobre rastrojo de trigo, utilizando una sembradora con dosificación neumática, y combinando tres velocidades de avance (3,6; 5,4 y 7,2 km.h⁻¹) con dos tipos de abresurco (doble disco y surcador fijo tipo bota, "*hoe*"), encontró una menor precisión en la distribución de semillas en la línea de siembra cuando se incrementó la velocidad, independientemente del tipo de abresurco utilizado.

En la siembra de girasol, Celik *et al.*, (2007) analizaron el distanciamiento y profundidad logrados con distintos tipos de sembradoras y dos condiciones de suelo: i. dosificación neumática con surcador fijo "*shoe*", en suelo labrado; ii. dosificación mecánica mediante rodillo acanalado, con surcador monodisco, en suelo labrado; iii. dosificación mecánica mediante rodillo acanalado, con surcador fijo tipo "*hoe*", en suelo con cobertura vegetal sin laboreo. Las velocidades de trabajo fueron: 3,4; 5,6 y 7,2 km.h⁻¹. Los resultados muestran una mejor uniformidad en el distanciamiento con la sembradora de con surcador fijo tipo "*hoe*", pero la mejor uniformidad en la profundidad la obtienen con una sembradora neumática con el surcador fijo tipo "*shoe*". Le siguió la sembradora de directa con surcador fijo. Para el caso de la uniformidad en la profundidad de siembra es claro que la mayor incidencia le corresponde a los surcadores utilizados. Los del tipo fijo tuvieron los mejores resultados en las dos condiciones de suelo planteadas: con y sin laboreo. Para todos los tratamientos observan una correlación negativa entre velocidad y el tiempo medio a emergencia.

1.4.3.3 Vibración de la máquina sembradora

Breece *et al.* (1992) caracterizaron la vibración en dos sembradoras. Para esto, como variables tomaron el tipo de suelo (franco y arcilloso); su preparación previa a la siembra; velocidad de avance del equipo (3, 6 y 9 km.h⁻¹) y dos posiciones de la unidad de siembra: una intermedia de la vía del tractor, donde la sembradora trabajó en suelo suelto, y la otra posición siguiendo la línea de pisada de la rueda del tractor. Los resultados que obtuvieron muestran niveles de vibración muy similares entre las parcelas de estudio, sin embargo, presentaron diferencias significativas entre las dos posiciones de la sembradora con respecto al tractor. Concluyeron que la sembradora se ve más afectada cuando trabaja sobre suelos compactados. Además, la preparación de la superficie de siembra es fundamental para reducir los niveles de vibración transmitidos a la sembradora y por último, que velocidades de avance del tractor por encima de los 6 km.h⁻¹ deberán ser consideradas en función de la calidad de la preparación de la superficie del suelo.

Para el caso de siembra de grano fino, Boydas y Turgut, (2007) encontraron que la uniformidad de siembra de cebada se ve considerablemente afectada por las vibraciones producidas por la rugosidad del suelo y la tracción del tractor, y al mismo tiempo hallaron que un aumento en la densidad de siembra mejora significativamente la uniformidad de distribución.

2. JUSTIFICACIÓN

La revisión bibliográfica demuestra que el logro de la precisión en la siembra de un cultivo, implica conocer y controlar numerosas variables que hacen a la mecánica, a la conformación de la máquina sembradora, su alistamiento, a la operación en la labor de siembra, y a variables ambientales del sitio de siembra. Todas ellas interaccionan constantemente dando resultados dispares en la evaluación de la implantación del cultivo.

En la revisión bibliográfica realizada no se halló una detallada descripción de la conformación, regulación de las máquinas sembradoras y de las condiciones de operación, ni de las características de la semilla tanto en su viabilidad como en su forma y tamaño. Contar con esta información debería ser primordial al encarar ensayos de precisión de siembra, dado que cada componente de la sembradora presenta su propia variabilidad intrínseca en su funcionamiento, y ésta puede estar condicionada por los diferentes factores ambientales y sus variaciones.

Subestimar esta información preliminar puede llevar a diagnósticos erróneos o al planteo de hipótesis alejadas a la realidad. Trabajando con máquinas de labranza, Marques da Silva y Soares (2000) alertan sobre el problema de la incompleta descripción de las herramientas y de las condiciones de los ensayos, lo cual impide la comparación de experiencias realizadas en diferentes lugares y épocas, y su replicación.

En este trabajo no se incluye al rendimiento como una variable respuesta. Esto se fundamenta por el hecho de su dependencia de numerosos factores inconstantes, entre los que se encuentra la implantación del cultivo. Al lograrse valores aceptables en la eficiencia de implantación solo se está asegurando un estado de partida, donde su fuerza reside en permitir tolerar las adversidades que ocurran durante el ciclo del cultivo. Solamente valores muy bajos en la eficiencia de implantación pueden extrapolarse en el tiempo como bajos rendimientos, lo cual puede ser un elemento de juicio para decidir la resiembra del cultivo.

Conocer y caracterizar la variabilidad en la distribución de semillas de maíz por una sembradora de dosificación mecánica, en condiciones de trabajo típicas de siembra sin laboreo previo del suelo, permitirá conciliar la capacidad de repuesta de este tipo de sembradoras a la aplicación de la información utilizada en la agricultura de precisión. El buen ajuste entre diferentes componentes tecnológicos será posible si se tienen contestadas para cada situación las siguientes preguntas: ¿Qué se va a sembrar? ¿Dónde se va a sembrar? ¿Con qué se va a sembrar? ¿Cómo será el trabajo de siembra? ¿Cómo y cuándo se va a evaluar el trabajo de siembra? El grado de certidumbre que tengan en conjunto las respuestas influirá, en definitiva, en la precisión de siembra.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo direccional

Analizar los efectos del régimen de labranza, del alistamiento del tren de siembra con un accesorio asentador de semilla (tipo rueda), en la mejora de la uniformidad en el distanciamiento entre plantas emergidas, a partir de una calidad de distribución de semillas lograda en la regulación de la sembradora; y cómo estos patrones de distribución inciden en el día medio a emergencia y en la eficiencia de implantación de un cultivo de maíz.

3.2 Objetivos operacionales

- 1) Evaluar a campo la uniformidad de distribución de semillas de una máquina sembradora para dos alistamientos del tren de siembra: con y sin accesorio asentador de semilla.
- 2) Evaluar a campo la uniformidad de distribución de plantas emergidas en dos regímenes de labranza, a dos velocidades de avance, y con dos posibles alistamientos del tren de siembra.
- 3) Evaluar cómo el alistamiento del equipo de siembra, la operación y las condiciones de trabajo afectan la uniformidad de emergencia y eficiencia de implantación.
- 4) Evaluar el desempeño general de la máquina sembradora y de cada cuerpo sembrador en forma individual, en la regulación previa a la labor y en la operación de siembra.

4. HIPÓTESIS

- 1) Los índices de calidad para el distanciamiento entre semillas difieren de los índices de calidad para el distanciamiento entre plantas emergidas logrados en siembra directa a una velocidad de $6,8 \text{ km.h}^{-1}$ y con presencia de asentador de semilla.
- 2) Los índices de calidad para el distanciamiento entre semillas difieren de los índices de calidad para el distanciamiento entre plantas emergidas logrados en siembra directa a una velocidad de $6,8 \text{ km.h}^{-1}$ y sin la presencia de asentador de semilla.
- 3) Los índices de calidad para el distanciamiento entre semillas difieren de los índices de calidad para el distanciamiento entre plantas emergidas logrados en siembra directa a una velocidad de $8,1 \text{ km.h}^{-1}$ y con presencia de asentador de semilla.
- 4) Los índices de calidad para el distanciamiento entre semillas difieren de los índices de calidad para el distanciamiento entre plantas emergidas logrados en siembra directa a una velocidad de $8,1 \text{ km.h}^{-1}$ y sin la presencia de asentador de semilla.
- 5) Los índices de calidad para el distanciamiento entre semillas difieren de los índices de calidad para el distanciamiento entre plantas emergidas logrados en suelo laboreado a una velocidad de $6,8 \text{ km.h}^{-1}$ y con presencia de asentador de semilla.
- 6) Los índices de calidad para el distanciamiento entre semillas difieren de los índices de calidad para el distanciamiento entre plantas emergidas logrados en suelo laboreado a una velocidad de $6,8 \text{ km.h}^{-1}$ y sin la presencia de asentador de semilla.
- 7) Los índices de calidad para el distanciamiento entre semillas difieren de los índices de calidad para el distanciamiento entre plantas emergidas logrados en suelo laboreado a una velocidad de $8,1 \text{ km.h}^{-1}$ y con presencia de asentador de semilla.
- 8) Los índices de calidad para el distanciamiento entre semillas difieren de los índices de calidad para el distanciamiento entre plantas emergidas logrados en laboreado a una velocidad de $8,1 \text{ km.h}^{-1}$ y sin la presencia de asentador de semilla.
- 9) Las unidades de siembra que conforman una máquina sembradora tienen el mismo logro de distanciamientos entre plantas emergidas.

5. MATERIALES Y MÉTODO

El ensayo se llevó a cabo en el establecimiento La Cuadrada, ubicado a 12 km de la localidad de Chivilcoy, en el centro norte de la provincia de Buenos Aires a 34° 58'43" de latitud sur y 59° 59' 44" de longitud oeste.

El suelo del lote donde se realizó el ensayo pertenece a la serie Indacochea, que presenta las características de ser oscuro, profundo con fuerte desarrollo, su aptitud es agrícola, se encuentra en un área de paisaje suavemente ondulado ocupando un micro-relieve bajo entre lomas dentro de la subregión pampa ondulada alta, moderadamente bien drenado, desarrollado sobre sedimentos loésicos franco limosos, no salino, no alcalino en pendientes de 0-0,5 %. Los suelos que conforman esta serie pertenecen a las clasificaciones taxonómicas: Argiudol Típico, Limosa fina, mixta, térmica y Argiudol Ácuico, limosa fina, mixta, térmica (USDA Soil Taxonomy V. 2006)

5.1. Materiales

Se utilizó una sembradora de marca Cele modelo Activa II, alistada con el *kit* para siembra de grano grueso, provista por el fabricante. La distancia entre cuerpos fue de 700 mm. La máquina estaba alistada con dosificador mecánico de placa alveolada de eje vertical. La placa poseía dos hileras de alveolos con un total de 42. Las dimensiones del alvéolo eran de 14,2 mm y 15,3 mm de diámetro superior e inferior respectivamente; siendo de 4,7 mm el espesor. La densidad de siembra para la cual se reguló la sembradora fue de 4,7 semillas.m⁻¹ (≈67.143 semillas.ha⁻¹)

El tren de siembra estaba conformado por labrasurco: cuchilla simétrica con 18 ondulaciones tangenciales ("turbo") de 431,8 mm de diámetro, 4 mm de espesor y 12 mm de amplitud de onda; surcador doble disco encontrado con discos de 16" (406,4 mm), 2 ruedas niveladoras de profundidad de 63,5 mm ancho y 381 mm de diámetro; rueda asentadora de semilla semineumática de 25,4 mm de ancho y 203,2 mm de diámetro; y dos ruedas cubridoras – compactadoras semineumáticas de 25,4 mm de ancho y 304,8 mm de diámetro.

Se utilizó un tractor John Deere 7505 con potencia nominal de 104 kW y 5.476 kg (peso sin lastre). El tractor poseía neumáticos delanteros Pirelli TM 95. 18,9 – 26, de diez lonas y con una presión de inflado de 1,13 kg.cm⁻². Los neumáticos traseros eran Goodyear Dyna Torque III. 24,5 – 32, de doce lonas 12 y una presión de inflado de 1,13 kg.cm⁻². El tractor estaba lastrado en su tren posterior con agua hasta la parte superior de llanta.

Se utilizó semilla de maíz perteneciente al híbrido DM 3845. La misma fue caracterizada en cuanto a rotura (R) y poder germinativo (PG₂) antes y después del paso por el conjunto dosificador de cada uno de los cuerpos que conforman la máquina sembradora, de esta forma se evaluó el daño mecánico. Estos índices fueron cuantificados utilizando la metodología propuesta por ISTA (2006). Esta norma establece dos recuentos de PG, el primero a los 4 días (PG₁) y el segundo a los 7 días (PG₂). Con R, P y PG₂ de la semilla dosificada por cada cuerpo sembrador se construyó un coeficiente de viabilidad de la semilla (CVS) aplicando el modelo propuesto por Soza, *et al.* (1998), según este autor el CVS se calcula como:

$$CVS = PG_d \times (1 - RV_d)$$

donde:

CVS = coeficiente de viabilidad de la semilla dosificada [0;1]

PG_d = poder germinativo de la semilla dosificada [0;1]

RV_d = rotura visible de la semilla dosificada [0;1]

La semilla de maíz también fue caracterizada en cuanto a sus dimensiones: ancho (a), largo (l), espesor (e), (ver Figura 1), y esfericidad (θ) que se calcula según la siguiente ecuación citada por Mohsenin (1986):

$$\theta = \frac{\sqrt[3]{a \times l \times e}}{l}$$

donde:

θ = esfericidad

a =ancho de la semilla.
 l = largo de la semilla.
 e =espesor de la semilla

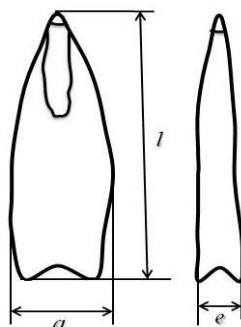


Figura 1. Dimensiones de la forma, y su nomenclatura, de un grano de maíz.

Las dimensiones de la semilla: ancho, espesor y largo fueron obtenidas mediante el uso de un calibre con una precisión de $\pm 0,05$ mm

El equipo de siembra fue conformado con un tractor John Deere y una sembradora Cele Activa II, alistada con el *kit* de siembra de grano grueso provisto por el fabricante.

5.2. Método

5.2.1 Variables de estudio y tratamientos

En la tabla 0 se muestran las variables de estudio y sus niveles; de la combinación de los mismos surgen los ocho tratamientos a evaluar en la uniformidad del distanciamiento entre plantas. Los tratamientos se realizaron en un lote de producción comercial.

Tabla 0. Variables de estudio; sus niveles y nomenclatura de los tratamientos.

Labranza	Asentador	Velocidad	Tratamiento
Siembra directa	Con rueda asentadora de semillas	6,7 km.h ⁻¹	DR6
		8,1 km.h ⁻¹	DR8
	Sin rueda asentadora de semillas	6,7 km.h ⁻¹	DN6
		8,1 km.h ⁻¹	DN8
Labranza convencional	Con rueda asentadora de semillas	6,7 km.h ⁻¹	CR6
		8,1 km.h ⁻¹	CR8
	Sin rueda asentadora de semillas	6,7 km.h ⁻¹	CN6
		8,1 km.h ⁻¹	CN8

Para la recolección de los datos de distanciamientos entre semillas se procedió a transitar el equipo de siembra fuera del lote donde se sembró el maíz; esta operación es la que usualmente se emplea en el establecimiento donde se realizó el ensayo. Para la regulación de la sembradora se empleó la velocidad de 6,7 km.h⁻¹. No se dio presión a las ruedas cubridoras - compactadoras de los trenes de siembra a los efectos de dejar la semilla descubierta para su mejor visualización y evitar desplazamientos que se pudieron haber generado al tener que descubrir los surcos de siembra.

5.2.2 Variables respuesta

Las variables respuesta son: (i) distanciamiento entre semillas; (ii) distanciamiento entre plantas emergidas; (iii) día medio a emergencia y (iv) eficiencia de implantación.

5.2.2.1. Evaluación de la uniformidad de distribución de semillas y de plantas emergidas

La evaluación de la uniformidad de distribución de semillas se realizó en el momento de la regulación de la sembradora. Utilizando la metodología propuesta por la norma ISO 7256/1 – 1984 (E) se construyeron los índices de fallos (F), duplicaciones (D), normales (N) y precisión (P), para cada uno de los cuerpos sembradores.

La evaluación de la uniformidad de distribución entre plantas emergidas se realizó en cada uno de los tratamientos, para lo cual también se construyeron los índices F, D, N y P, pero en este caso se utilizó la metodología propuesta por Kachman y Smith (1995). Estos índices se cuantificaron para cada cuerpo sembrador, al momento de emergencia del cultivo, la cual se determinó cuando no se observaron nuevos nacimientos de plantas.

Tanto para la uniformidad de distribución de semillas, como para la de plantas emergidas, se recolectaron 50 datos, en cada uno de los cuerpos que conformaron la máquina, y para el caso de las plantas emergidas, en cada tratamiento.

Tabla 1. Detalle de las metodologías utilizadas para la valoración de la calidad de siembra.

	Norma ISO 7256/1 – 1984(E)	Kachman y Smith (1995)
Parámetro de medición	Distancia entre semillas descargadas.	Distancia entre plantas emergidas.
Procesamiento de los datos	$n'_1 = \sum n_i (d_s/x_{ref} \in \{0 ; 0,5\})$ $n'_2 = \sum n_i (d_s/x_{ref} \in \{0,5 ; 1,5\})$ $n'_3 = \sum n_i (d_s/x_{ref} \in \{1,5 ; 2,5\})$ $n'_4 = \sum n_i (d_s/x_{ref} \in \{2,5 ; 3,5\})$ $n'_5 = \sum n_i (d_s/x_{ref} \in \{3,5 ; \infty\})$ d_s : distanciamiento entre semillas descargadas. x_{ref} : distanciamiento teórico.	$n_1 = \sum d_{pi} / d_{pi} \in \{0 ; 0,5x_{ref}\}$ $n_2 = \sum d_{pi} / d_{pi} \in \{0,5x_{ref} ; 1,5x_{ref}\}$ $n_3 = \sum d_{pi} / d_{pi} \in \{1,5x_{ref} ; 2,5x_{ref}\}$ $n_4 = \sum d_{pi} / d_{pi} \in \{2,5x_{ref} ; 3,5x_{ref}\}$ $n_5 = \sum d_{pi} / d_{pi} \in \{3,5x_{ref} ; \infty\}$ d_p : distanciamiento entre plantas. x_{ref} : distanciamiento teórico.
	Númerototaldedistanciamientosrelevados (N) $N = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5$	
	Número de distanciamientos (N') $N' = n'_2 + 2n'_3 + 3n'_4 + 4n'_5$	
Duplicaciones (multiple index)	$D = \frac{n'_1}{N'} \times 100$	$D = \frac{n_1}{N}$
Fallos (miss index)	$M = \frac{n'_2 + 2n'_3 + 3n'_4}{N'} \times 100$	$M = \frac{n_2 + n_3 + n_4}{N}$
Calidad (quality of feed index)	$A = \frac{N - 2n'_1}{N'} \times 100$	$A = \frac{n_2}{N}$
Precisión	$C = 100 \times \sqrt{\frac{\sum n_i \cdot X_i^2}{n'_2} - \bar{X}^2}$ $\text{donde: } \bar{X} = \frac{\sum_1^i n_i \cdot X_i}{n'_2} \quad \forall X_i \in \{>0,5; <1,5\}$	$C = \frac{s_2}{x_{ref}}$

A la par de la anterior evaluación en la distribución de semillas y plántulas emergidas se realizó un análisis estadístico basado en el cálculo de las probabilidades de ocurrencia de los eventos denominados duplicaciones y fallos, tal cual son definidos por las dos metodologías anteriormente expuestas.

A partir de los histogramas de distanciamientos entre semillas y plántulas emergidas se buscaron las funciones estadísticas que tuvieran el mejor ajuste. Para este fin se utilizó el programa estadístico InfoStat/Profesional versión 1.1 (2002)

5.2.2.2. Evaluación de la uniformidad de emergencia y eficiencia de implantación

Para cada tratamiento y cuerpo de siembra se calculó el día medio de emergencia (DME), según la propuesta de Bilbro y Wanjura (1982), según estos autores, el DME se calcula como:

$$DME[día] = \frac{N_1 D_1 + N_2 D_2 + \dots + N_n D_n}{N_1 + N_2 + \dots + N_n}$$

donde:

N_i = número de plantas emergidas en el momento i , descontadas las emergidas en $(i-1)$

D_i = número de días posteriores a la siembra.

Para este fin, se delimitaron para cada tratamiento cuatro parcelas transversales a la dirección de avance, de ancho igual al ancho de labor de la máquina por 1,5 m de largo. En cada parcela se fue cuantificando en forma diaria la emergencia de plántulas, para cada surco de siembra. Cuando no se contaron nuevas plantas emergidas se consideró que se había llegado a momento de máxima emergencia.

Con el dato final de plantas emergidas, y el dato de las semillas viables descargadas por cada cuerpo, y en cada tratamiento se calculó la eficiencia de implantación (E_i), según el siguiente modelo:

$$E_i = \frac{pe}{sv}$$

donde:

pe = número de plantas emergidas por metro de surco.

sv = número de semillas viables distribuidas por metro de surco.

6. RESULTADOS

6.1. Análisis de la semilla

La valorización de los índices que caracterizan a la semilla en cuanto a la factibilidad de generar una planta se pueden observar en la Tabla 2. Estos índices se calcularon en forma previa al paso por el conjunto dosificador (bolsa), y luego de pasar por ellos (número de 1 al 10, correspondientes a cada cuerpo sembrador). En la Tabla 2 se pueden observar los resultados hallados, y su análisis estadístico.

Tabla 2. Poder germinativo (PG₁: primer recuento; PG₂: segundo recuento); rotura visible (RV) y coeficiente de viabilidad (CVS) de las semillas de maíz de muestras tomadas en las bolsas con que se cargó la tolva (Bolsa) y en las tomadas luego del paso por cada uno de los dosificadores.

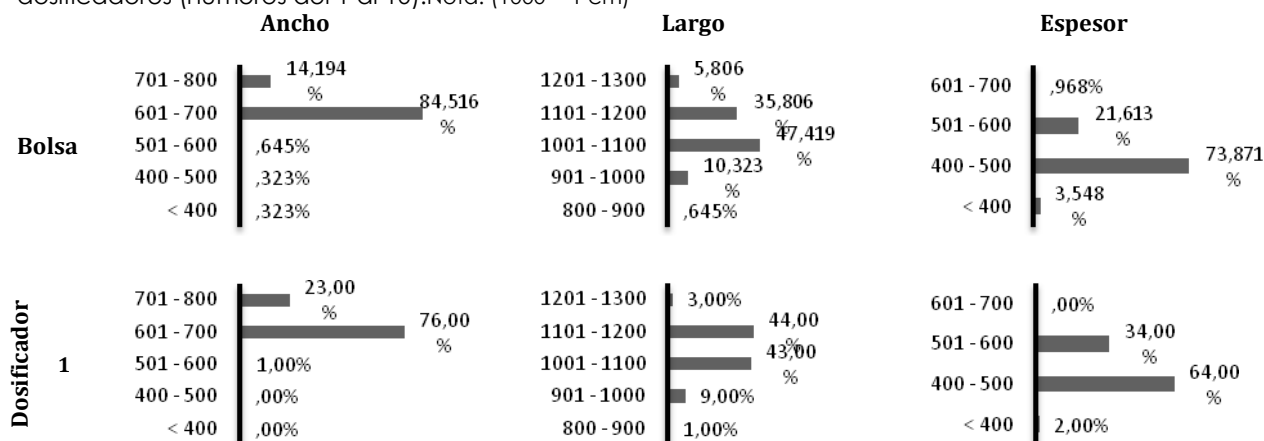
	PG ₁	PG ₂	RV	CVS
Bolsa	97,3% a	98,8% a	0,2% a	98,5%
1	98,1% a	98,1% a	1,3% b	96,9%
2	98,0% a	99,5% a	0,7% a	98,8%
3	99,0% a	99,8% a	1,0% ab	98,8%
4	98,3% a	99,3% a	1,3% b	98,0%
5	97,7% a	98,5% a	1,7% b	96,8%
6	98,3% a	99,3% a	0,2% a	99,0%
7	97,8% a	98,8% a	0,5% a	98,3%
8	98,8% a	99,0% a	0,8% a	98,2%
9	99,0% a	99,5% a	0,7% a	98,8%
10	99,8% a	100% a	0,2% a	99,8%

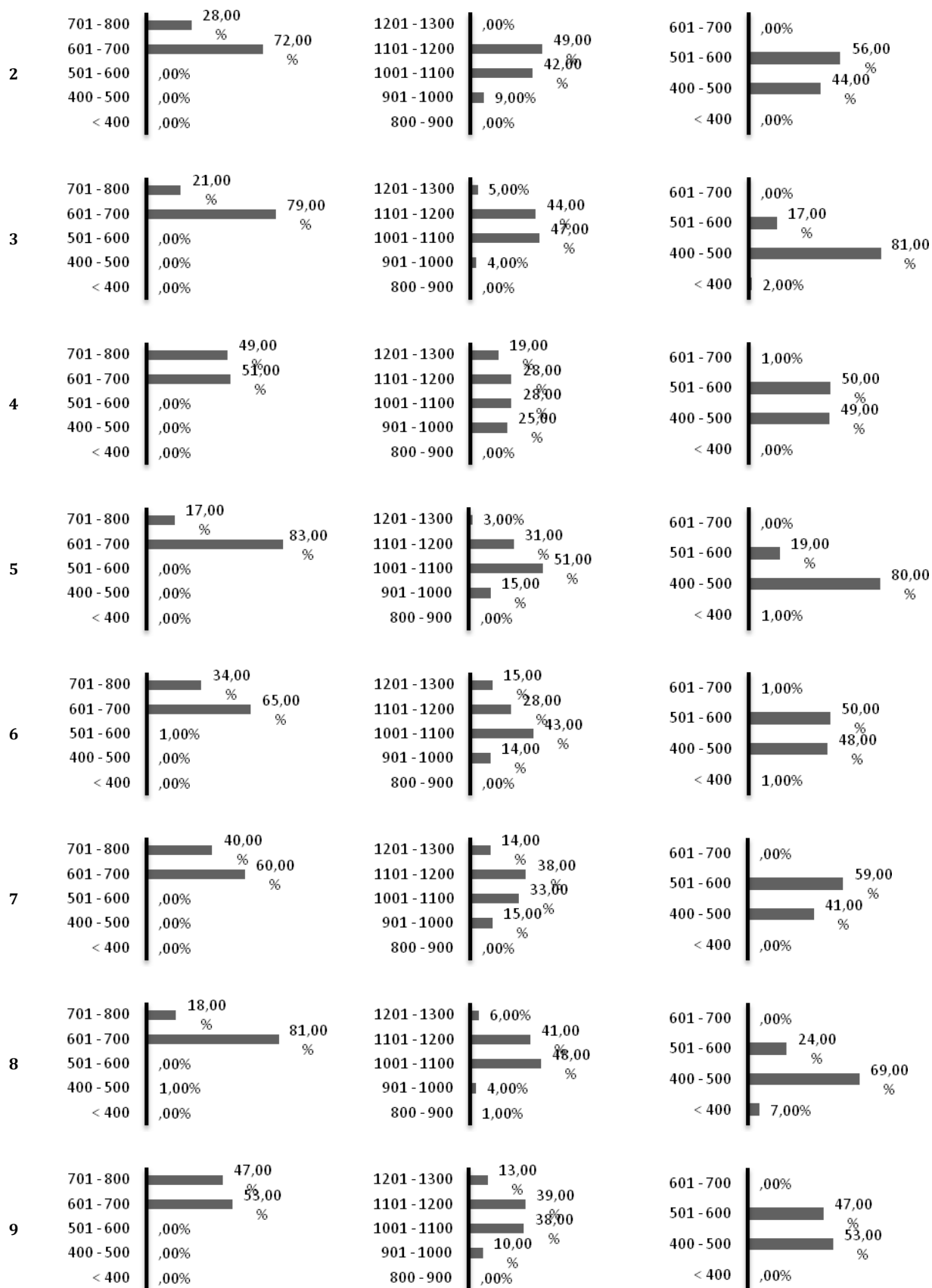
Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey; p<0,05)

Con los valores de dimensionamiento de la semilla: ancho (a); largo (l) y espesor (e) se construyeron histogramas que caracterizaron la forma de las semillas utilizadas en el ensayo. Esta caracterización se realizó en muestras de semillas provenientes de la bolsa, y de muestras recolectadas en la descarga de los dosificadores. La Tabla 3 muestra las frecuencias relativas para cada una de las dimensiones.

Con las dimensiones de ancho; largo y espesor se calculó la esfericidad (θ) de cada una de las semillas relevadas. Este valor θ fue utilizado para calcular un valor medio en cada uno de los cuerpos analizados de la sembradora, y para la semilla obtenida directamente de la bolsa. Posteriormente se cuantificaron distintos parámetros estadísticos para caracterizar las poblaciones. Estos resultados son mostrados en la Tabla 4.

Tabla 3. Frecuencias relativas de las dimensiones de las semillas de maíz de muestras tomadas en las bolsas con que se cargó la tolva (Bolsa) y en las tomadas luego del paso por cada uno de los dosificadores (números del 1 al 10). Nota: (1000 = 1 cm)





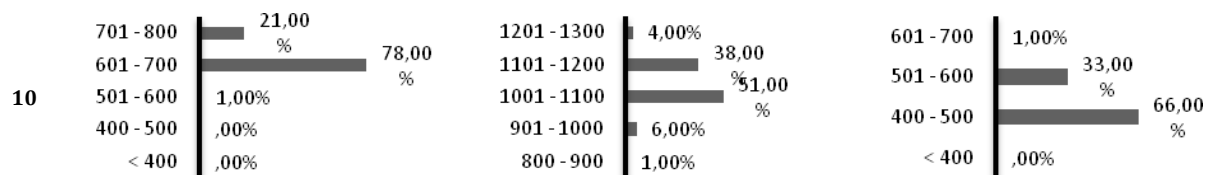


Tabla 4. Estadística descriptiva de la variable esfericidad de la semilla dosificada en cada cuerpo y en la bolsa. Letras distintas en la media indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0,0001$) (DE: desvío estándar; EE: error estándar; CV: coeficiente de variación; Mín: valor mínimo; Máx: valor máximo; P(i): percentil i)

Cuerpo	Media	DE	EE	CV	Mín	Máx	P(05)	P(10)	P(25)	P(50)	P(75)	P(90)	P(95)
Bolsa	0,64 ab	0,04	0,0022	6,02	0,50	0,76	0,58	0,59	0,62	0,64	0,67	0,69	0,72
1	0,65 abc	0,04	0,0038	5,94	0,56	0,84	0,59	0,60	0,62	0,64	0,67	0,70	0,70
2	0,66 c	0,03	0,0034	5,18	0,58	0,75	0,61	0,62	0,64	0,66	0,68	0,71	0,71
3	0,63 a	0,03	0,0028	4,38	0,57	0,70	0,58	0,60	0,62	0,63	0,65	0,67	0,68
4	0,66 c	0,05	0,0100	7,88	0,57	0,82	0,58	0,59	0,62	0,66	0,70	0,73	0,75
5	0,65 abc	0,03	0,0034	5,21	0,56	0,72	0,59	0,61	0,62	0,65	0,67	0,69	0,71
6	0,66 b c	0,04	0,0045	6,81	0,49	0,76	0,58	0,60	0,62	0,66	0,68	0,71	0,72
7	0,66 c	0,04	0,0044	6,59	0,57	0,75	0,58	0,61	0,63	0,65	0,69	0,73	0,73
8	0,64 a	0,04	0,0035	5,58	0,56	0,76	0,57	0,59	0,61	0,64	0,66	0,67	0,68
9	0,65 b c	0,04	0,0042	6,39	0,57	0,75	0,59	0,60	0,62	0,66	0,68	0,71	0,73
10	0,65 abc	0,04	0,0037	5,67	0,57	0,77	0,59	0,61	0,63	0,64	0,67	0,70	0,71

6.2. Distribución de semillas

6.2.1 Estadística descriptiva de la distribución de semillas

La distribución de semillas fue estudiada mediante la observación y análisis de las poblaciones halladas durante la regulación de la sembradora. Con este fin se construyeron la Tabla 5 y el Gráfico 1; en este último se señalan los límites de duplicación ($0,5 x_{ref}$); fallo ($1,5 x_{ref}$) y el distanciamiento de referencia (x_{ref}).

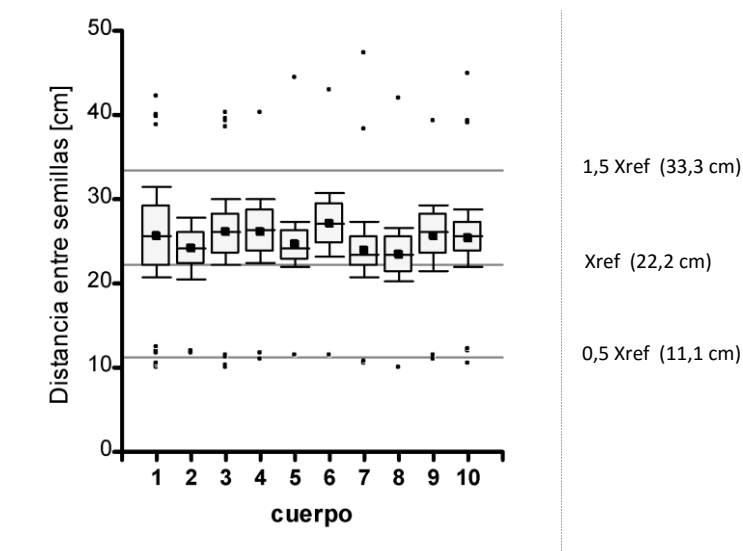


Gráfico 1. Diagramas de caja para los distanciamientos entre semillas observados en cada cuerpo de la máquina sembradora al momento de la regulación de la densidad de siembra.

Tabla 5. Estadística descriptiva los distanciamientos de semilla dosificada en cada cuerpo.
 Letras distintas en la media indican diferencias significativas (Tukey, $p < 0,0001$)
 (EE: error estándar; CV: coeficiente de variación;
 Mín: valor mínimo; Máx: valor máximo.

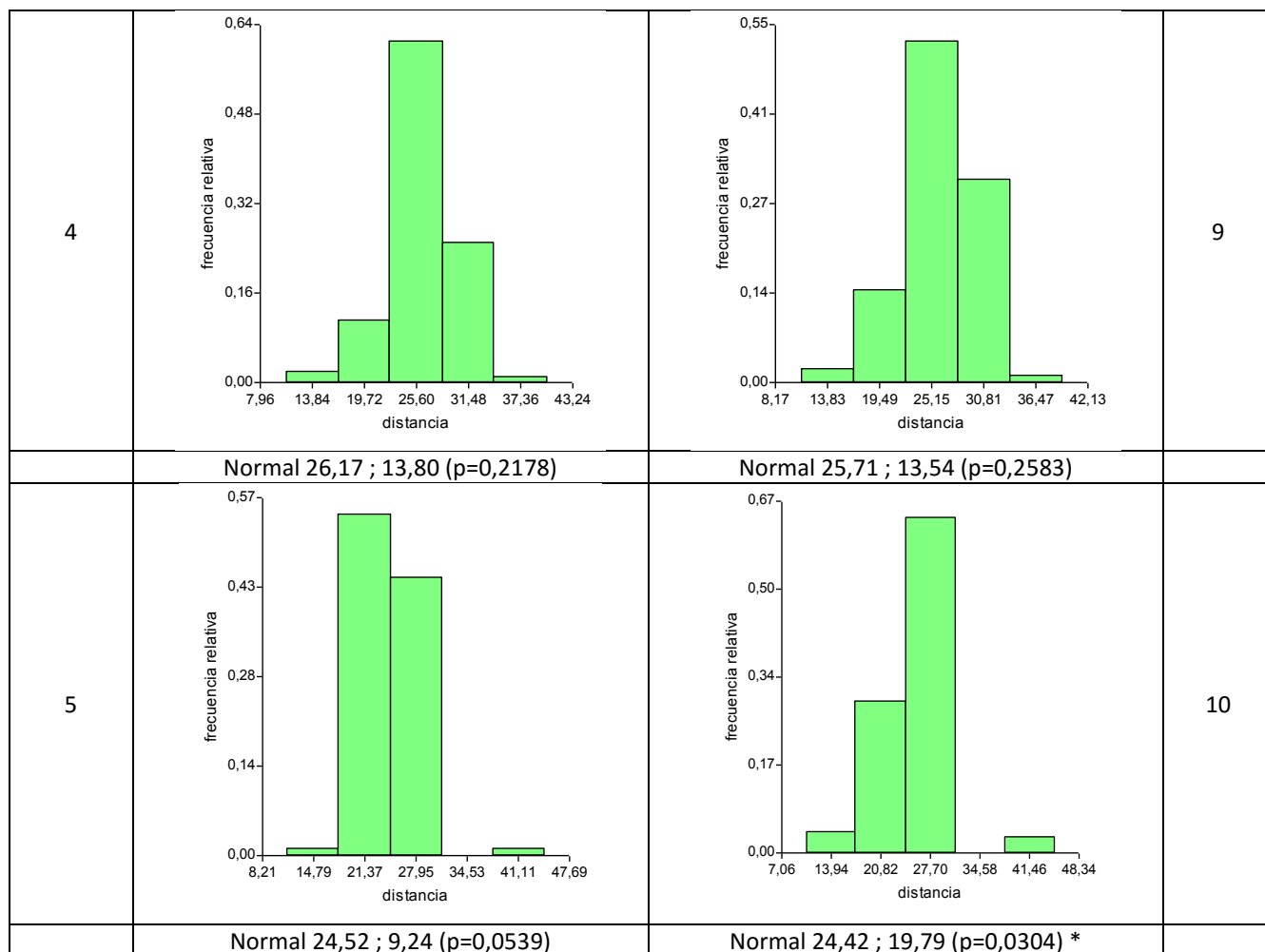
cuerpo	Media [cm]	E.E.	CV [%]	Mín [cm]	Máx [cm]
1	25,7 α	0,6	23,8	10,0	42,3
2	24,1 α	0,3	12,9	11,8	28,8
3	26,0 α	0,5	19,2	10,0	40,2
4	26,2 α	0,4	14,2	10,9	40,3
5	24,5 α	0,3	12,4	11,5	44,4
6	27,1 α	0,4	13,2	11,4	43,0
7	24,0 α	0,4	17,5	10,4	47,2
8	23,5 α	0,3	13,7	10,1	42,0
9	25,7 α	0,4	14,3	11,0	39,3
10	25,4 α	0,4	17,5	10,5	44,9

6.2.2 Histograma de distribución de semillas

Con las distintas poblaciones de distanciamientos de semillas pertenecientes a cada uno de los cuerpos evaluados se construyeron histogramas de frecuencias relativas. A partir de cada histograma se procedió a determinar la función estadística que mejor ajuste. En la tabla 6 la **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los distintos histogramas y bajo cada uno de ellos, se señala el nombre de la función de mejor ajuste según el test de Kolmogorov, junto con sus principales parámetros. En el caso de la función normal se indica el valor medio y la varianza; y en donde el mejor ajuste indicó una función gamma se indica el valor de λ y de r .

Tabla 6. Histogramas y distribución normal ajustada para los distanciamientos entre semillas en los cuerpos evaluados durante la regulación de la sembradora.

Cuerpo	Asentador		Cuerpo
	SI	NO	
1			6
	Normal 25,65 ; 37,31 (p=0,0880)	Normal 27,06 ; 12,71 (p=0,3670)	
2			7
	Normal 24,09 ; 9,59 (p=0,8075)	Gamma 1,45 ; 34,69 (p=0,0031) *	
3			8
	Normal 25,99 ; 24,89 (p=0,0228) *	Normal 23,52 ; 10,41 (p=0,2046)	



6.3 Distribución de plántulas emergidas

Para la caracterización de la distribución de las plántulas emergidas de maíz, se emplearon diversas técnicas, de manera de poner en evidencia las alteraciones que sean agrónomicamente significativas, como así también patrones en la distribución de plántulas.

6.3.1 Grillas de distribución de plántulas emergidas

En la Tabla 7 y en Tabla 8, se releva en forma gráfica las alteraciones, duplicaciones y fallos, en los distanciamientos de plántulas frente a los distintos niveles de las variables evaluadas en el ensayo.

Tabla 7. Esquematización de los distanciamientos entre plantas de maíz logrados en los tratamientos en siembra directa. Los números indican el cuerpo sembrador. Rectángulos blancos: distanciamientos aceptables; negros: fallos y grises: duplicaciones. El sentido de avance del equipo de siembra es hacia la parte inferior de la tabla.

DR6					DN6				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

DR8					DN8				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

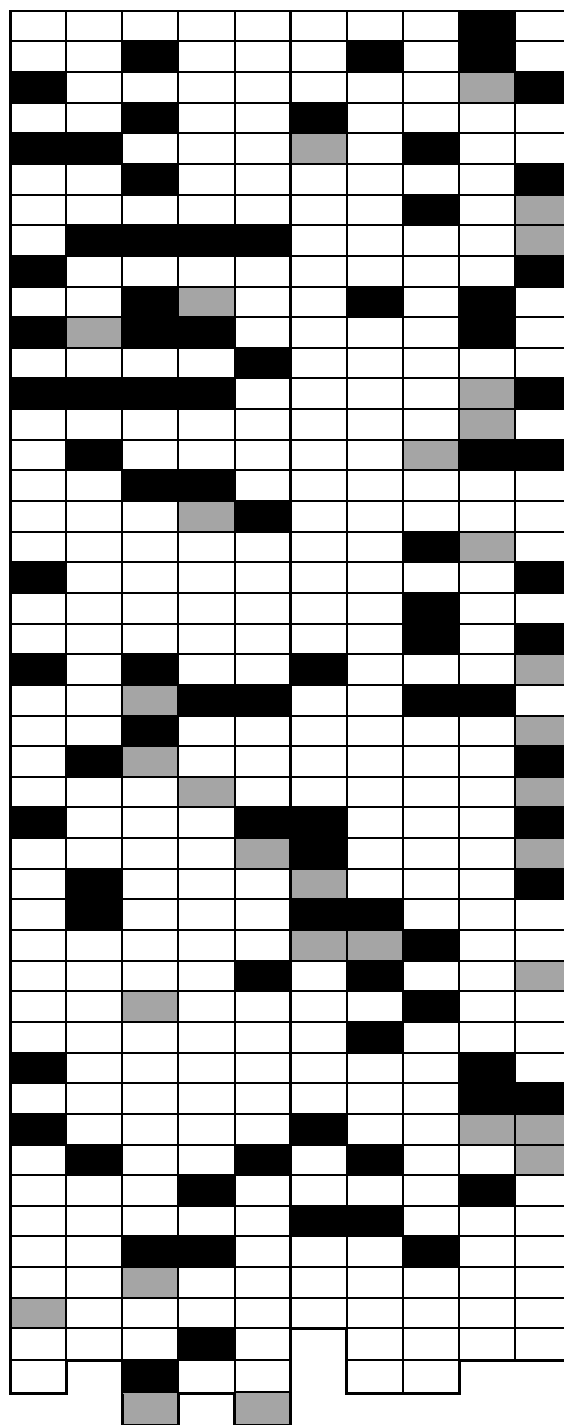
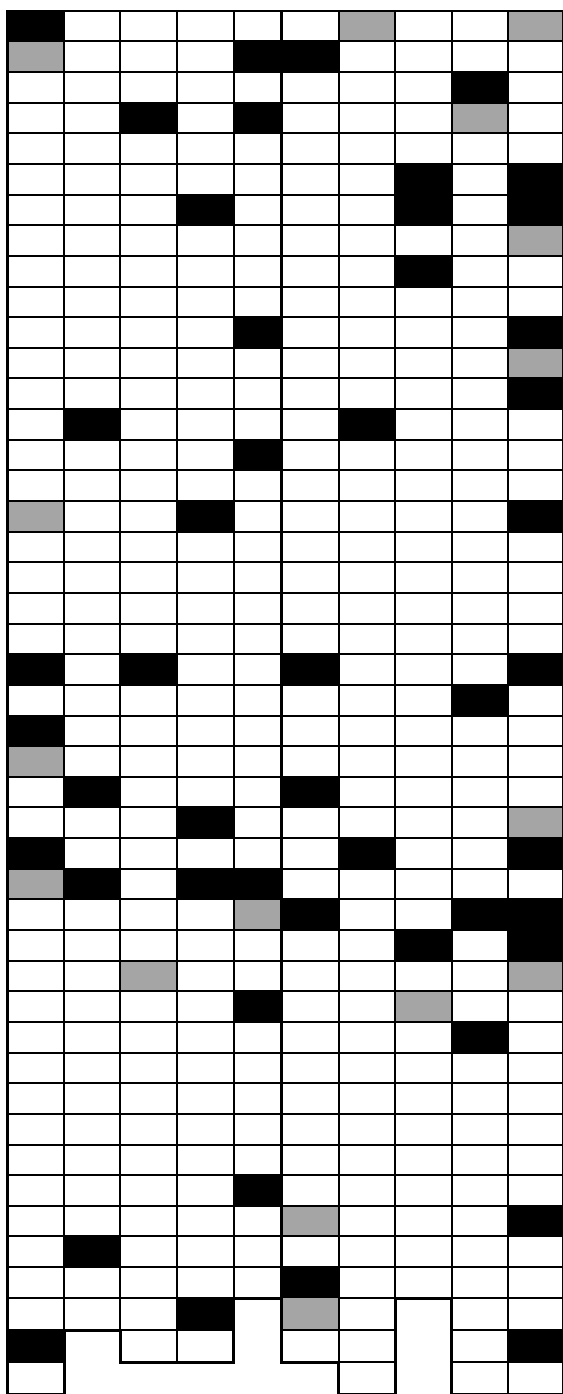
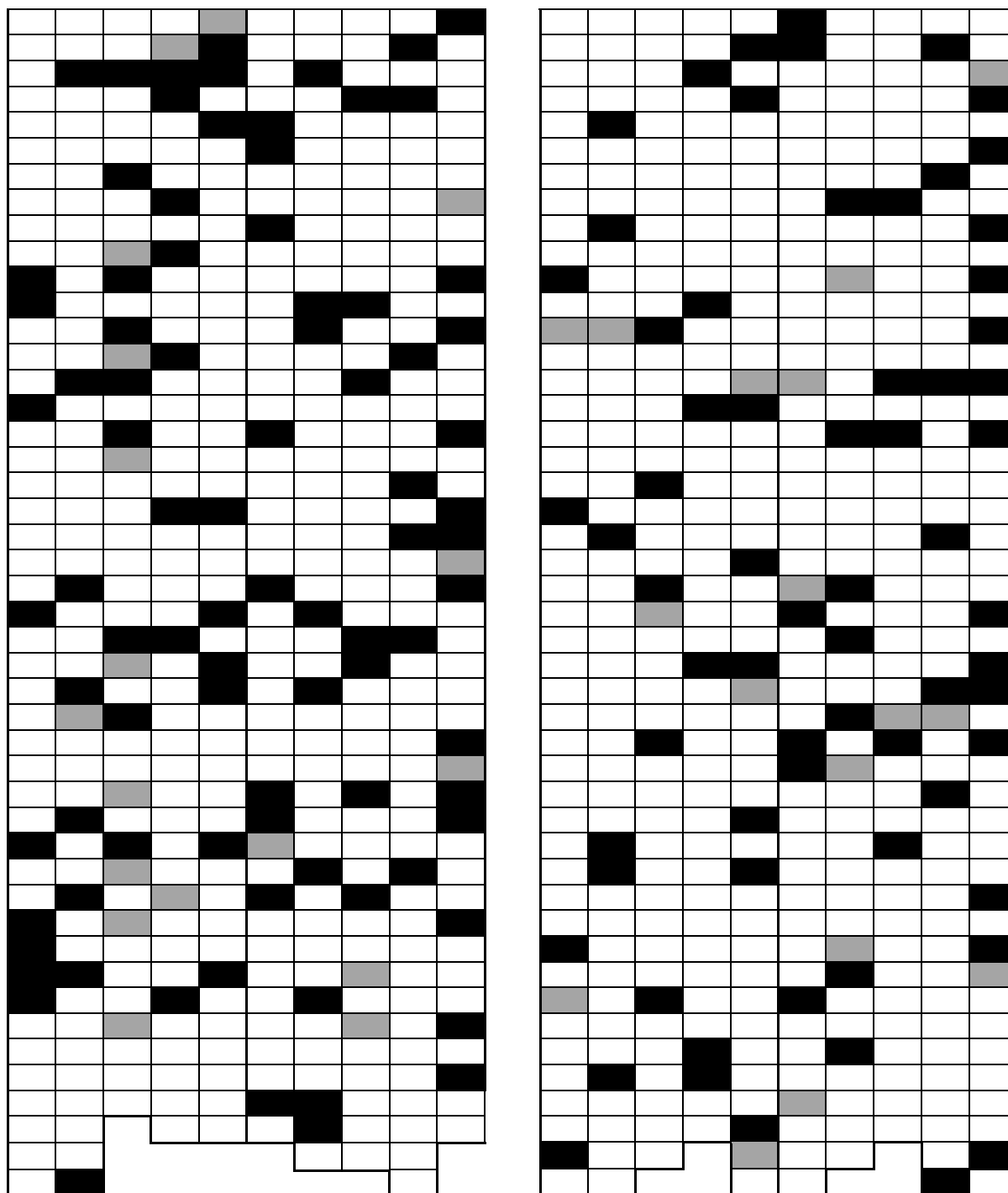


Tabla 8. Esquematización de los distanciamientos entre plantas de maíz logrados los tratamientos en labranza convencional. Los números indican el cuerpo sembrador. Rectángulos blancos: distanciamientos aceptables; negros: fallos y grises: duplicaciones. El sentido de avance es hacia abajo.

CR6					CN6				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

CR8					CN8				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



6.3.2 Calidad de siembra según norma ISO 7256/1–1984(E) y según la propuesta de Kachman y Smith (1995)

La cuantificación de las alteraciones en la distribución de semillas y plántulas, como los distanciamientos aceptables y su precisión, se realizó mediante la construcción de los índices de duplicaciones; fallos; aceptables y de precisión. Cada uno de ellos se calculó en función de lo determinado por la norma ISO 7256/1–1984(E), en el caso de distanciamiento de semillas; y por la metodología de Kachman y Smith (1995) en el caso de los distanciamientos entre plántulas emergidas.

La Tabla 9; Tabla 10; Tabla 11 y Tabla 12 muestran los valores de cada uno de los índices de calidad de siembra, calculados para los distanciamientos de semillas y plántulas según las respectivas metodologías.

El índice de precisión que se muestra en la tabla 12 mostró que cuando se trabajó en condiciones de cama de siembra generadas con herramientas de labranza, se generaron condiciones de siembra que hicieron superar la tolerancia del 29% (valores mostrados en color rojo) indicada por Kachman y Smith (1995), y esta observación se vio acrecentada cuando se trabajó con la velocidad de operación del equipos de siembra. Obtener valores superiores al 29% en el índice de precisión implica que existe el riesgo de generar fallos y/o duplicaciones y de esta forma comprometer la calidad de siembra.

Tabla 9. Porcentajes de distanciamientos aceptables hallados en la regulación de la sembradora (semillas) y los hallados a la implantación del cultivo (plantas).

	cuerpo	Distancia entre semillas	Distancia entre plantas			
			D6,7	C6,7	D8,1	C8,1
con rueda asentadora	1	87,8%	79,6%	79,2%	92,3%	85,2%
	2	98,0%	88,5%	83,0%	82,4%	84,9%
	3	91,1%	92,5%	64,0%	66,0%	82,7%
	4	97,0%	86,8%	78,4%	76,9%	88,2%
	5	98,0%	72,5%	80,4%	83,0%	77,4%
sin rueda asentadora	6	98,0%	86,8%	76,5%	76,0%	77,4%
	7	95,0%	92,6%	80,8%	84,6%	76,9%
	8	98,0%	86,3%	82,7%	80,4%	86,5%
	9	97,0%	88,9%	84,9%	70,6%	81,1%
	10	92,9%	63,0%	60,8%	56,9%	63,5%

Tabla 10. Porcentajes de duplicaciones hallados en la regulación de la sembradora (semillas) y los hallados a la implantación del cultivo (plantas).

	cuerpo	Distancia entre semillas	Distancia entre plantas			
			D6,7	C6,7	D8,1	C8,1
con rueda asentadora	1	7,1%	11,1%	0,0%	1,9%	3,7%
	2	2,0%	0,0%	1,9%	2,0%	1,9%
	3	4,0%	1,9%	16,0%	9,4%	1,9%
	4	2,0%	0,0%	3,9%	5,8%	0,0%
	5	1,0%	2,0%	2,0%	3,8%	5,7%
sin rueda asentadora	6	1,0%	3,8%	2,0%	8,0%	7,5%
	7	2,0%	1,9%	0,0%	1,9%	5,8%
	8	1,0%	2,0%	3,8%	2,0%	1,9%
	9	2,0%	1,9%	0,0%	9,8%	1,9%
	10	4,0%	9,3%	7,8%	17,6%	5,8%

Tabla 11. Porcentajes de fallos hallados en la regulación de la sembradora (semillas) y los hallados a la implantación del cultivo (plantas).

	cuerpo	Distancia entre semillas	Distancia entre plantas			
			D6,7	C6,7	D8,1	C8,1
con rueda asentadora	1	5,1%	9,3%	20,8%	5,8%	11,1%
	2	0,0%	11,5%	15,1%	15,7%	13,2%
	3	5,0%	5,7%	20,0%	24,5%	15,4%

	4	1,0%	13,2%	17,6%	17,3%	11,8%
	5	1,0%	25,5%	17,6%	13,2%	17,0%
sin rueda asentadora	6	1,0%	9,4%	21,6%	16,0%	15,1%
	7	3,0%	5,6%	19,2%	13,5%	17,3%
	8	1,0%	11,8%	13,5%	17,6%	11,5%
	9	1,0%	9,3%	15,1%	19,6%	17,0%
	10	3,0%	27,8%	31,4%	25,5%	30,8%

Tabla 12. Precisión lograda en la regulación de la sembradora (semillas) y las logradas a la implantación del cultivo (plantas).

	cuerpo	Distancia entre semillas	Distancia entre plantas			
			D6,7	C6,7	D8,1	C8,1
con rueda asentadora	1	14,3%	23,9%	19,4%	23,7%	22,6%
	2	10,2%	25,4%	21,1%	23,4%	34,2% *
	3	10,5%	24,7%	26,6%	28,9%	24,8%
	4	10,9%	26,0%	20,8%	20,0%	42,9% *
	5	12,5%	24,9%	22,4%	23,2%	24,9%
sin rueda asentadora	6	11,1%	19,1%	20,8%	26,3%	58,3% *
	7	8,4%	26,8%	20,0%	26,6%	54,9% *
	8	9,1%	19,7%	36,4% *	22,4%	22,3%
	9	11,0%	24,8%	25,0%	27,2%	21,3%
	10	8,7%	27,5%	56,3% *	27,0%	31,4% *

6.3.3 Histogramas de distribución de plántulas emergidas.

La confección de los histogramas correspondientes para los distanciamientos entre las plantas emergidas, en cada uno de los tratamientos evaluados, permitió inferir para cada uno de ellos el modelo de distribución teórico de mejor ajuste, según el test de Kolmogorov.

En el caso de ajustarse a una función normal se indica el valor medio y la varianza; en donde el mejor ajuste indicó una función gamma se indica el valor de lamda y de r; y para el caso de una función chi cuadrado se indica su varianza.

La Tabla 13; Tabla 14; Tabla 15 y Tabla 16 muestran los histogramas de frecuencias relativas contruidos a partir de los datos de distanciamientos de plantas emergidas para distintas combinaciones de los niveles de las variables de estudio.

Tabla 13. Histogramas de frecuencias relativas del distanciamiento entre plantas en labranza convencional y a una velocidad: 6,7 km.h⁻¹

Cuerpo	Asentador		Cuerpo
	SI	NO	

1	<p>Gamma 0,44 ; 12,70 (p=0,1463)</p>	6
2	<p>Chi cuadrado 29 (p=0,2574)</p>	7
3	<p>Gamma 0,49 ; 13,83 (p=0,6731)</p>	8
4	<p>Gamma 0,39 ; 10,27 (p=0,4621)</p>	9
	Chi cuadrado 28 (p=0,2291)	Chi cuadrado 28 (p=0,6700)

5			10
	Gamma 0,34 ; 9,76 (p=0,4624)	Normal 28,78 ; 156,14 (p=0,1562)	

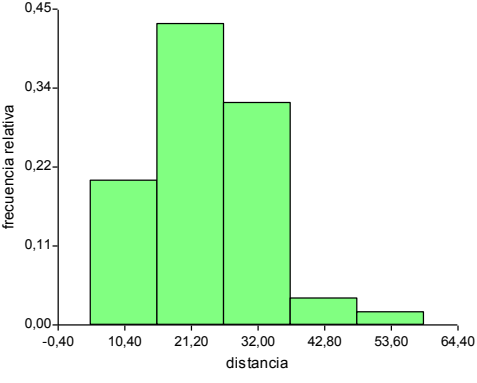
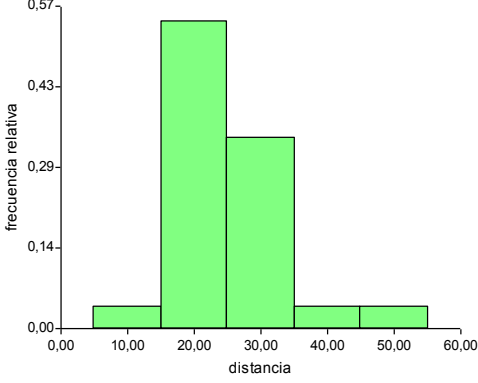
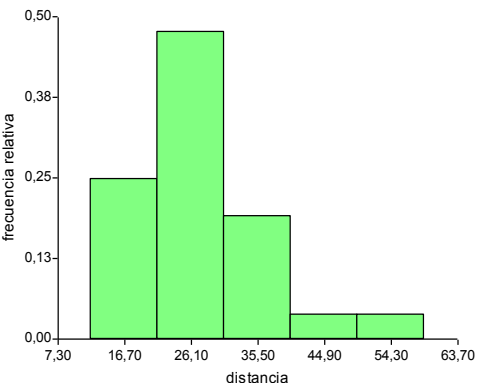
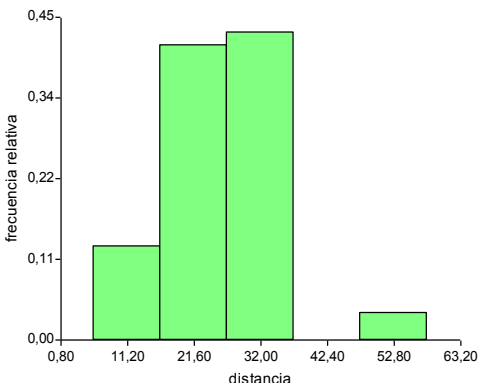
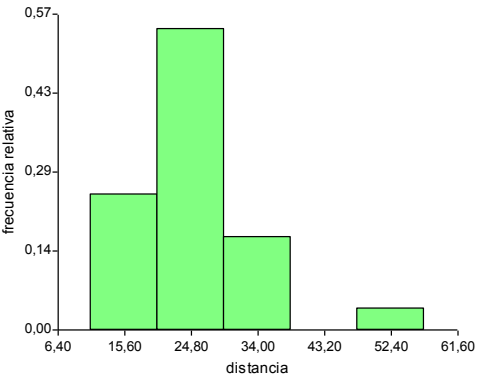
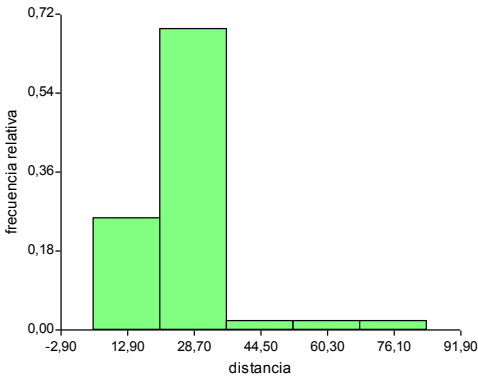
Tabla 14. Histogramas de frecuencias relativas del distanciamiento entre plantas en labranza convencional y a una velocidad de 8,1 km.h⁻¹

Cuerpo	Asentador		Cuerpo
	SI	NO	
1			6
	Chi cuadrado 27 (p=0,6324)	Chi cuadrado 28 (p=0,3386)	
2			7
	Normal 26,70 ; 57,52 (p=0,8955)	Gamma 0,21 ; 5,78 (p=0,4980)	

3			8
	Gamma 0,32 ; 8,72 (p=0,7094)	Chi cuadrado 27 (p=0,8785)	
4			9
	Chi cuadrado 28 (p=0,2918)	Normal 27,09 ; 66,02 (p=0,6386)	
5			10
	Normal 26,54 ; 66,94 (p=0,5622)	Normal 27,27 ; 135,09 (p=0,1674)	

Tabla 15. Histogramas de frecuencias relativas del distanciamiento entre plantas en siembra directa y a una velocidad de 6,7 km.h⁻¹

Cuerpo	Asentador		Cuerpo
	SI	NO	

1	 <p>Normal 24,31 ; 103,35 (p=0,3160)</p>	 <p>Chi cuadrado 25 (p=0,4390)</p>	6
2	 <p>Chi cuadrado 27 (p=0,7065)</p>	 <p>Normal 25,44 ; 74,66 (p=0,2757)</p>	7
3	 <p>Chi cuadrado 25 (p=0,8383)</p>	 <p>Chi cuadrado 28 (p=0,2052)</p>	8

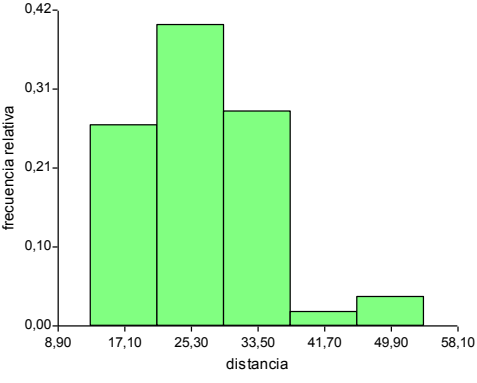
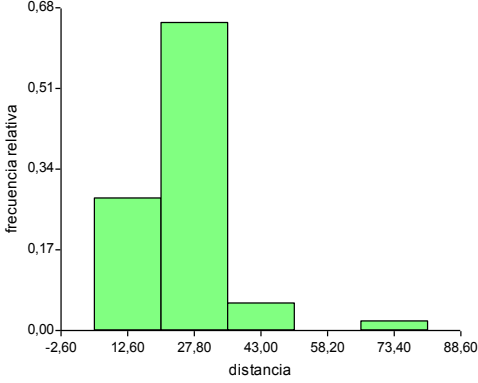
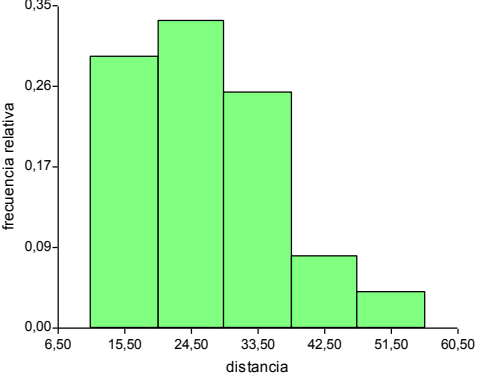
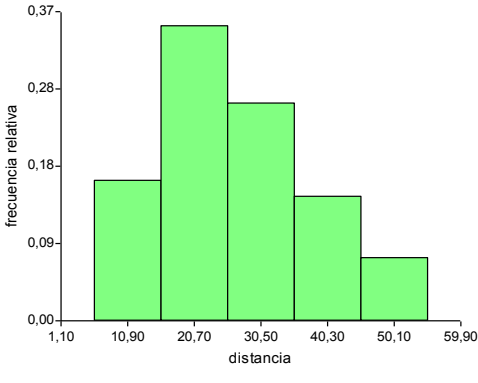
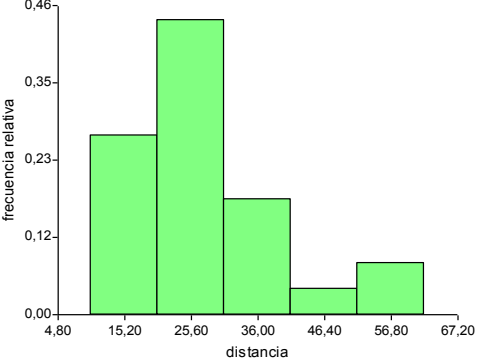
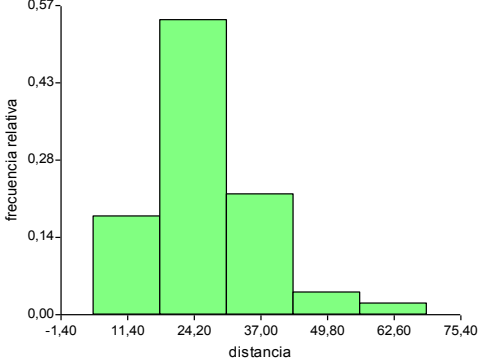
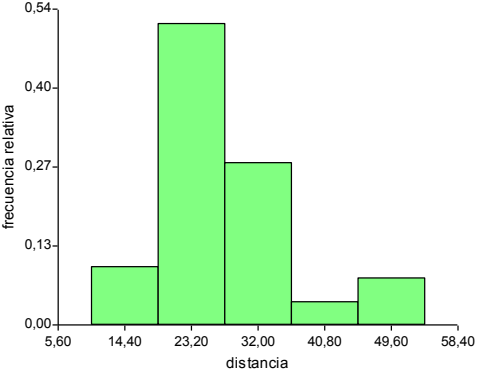
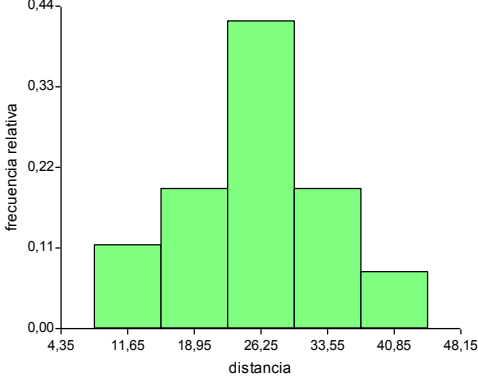
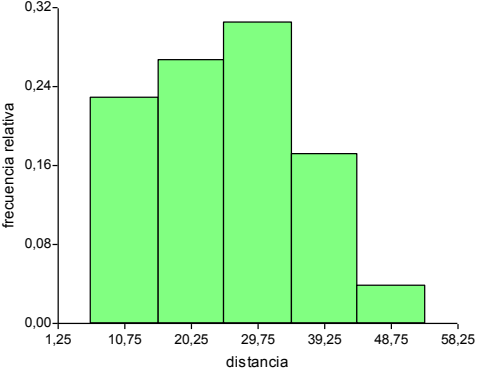
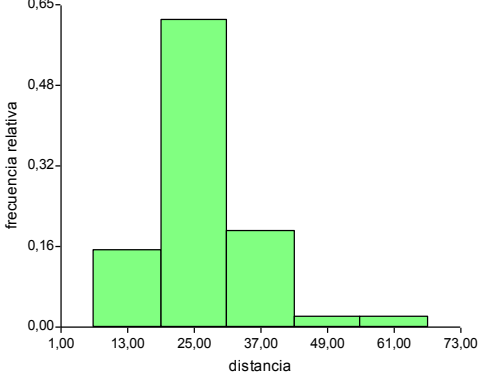
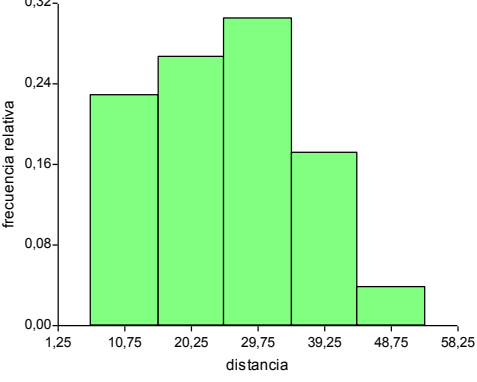
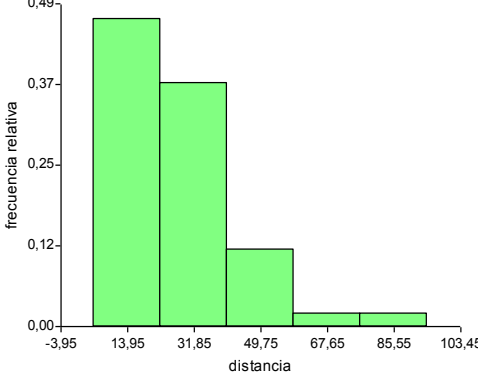
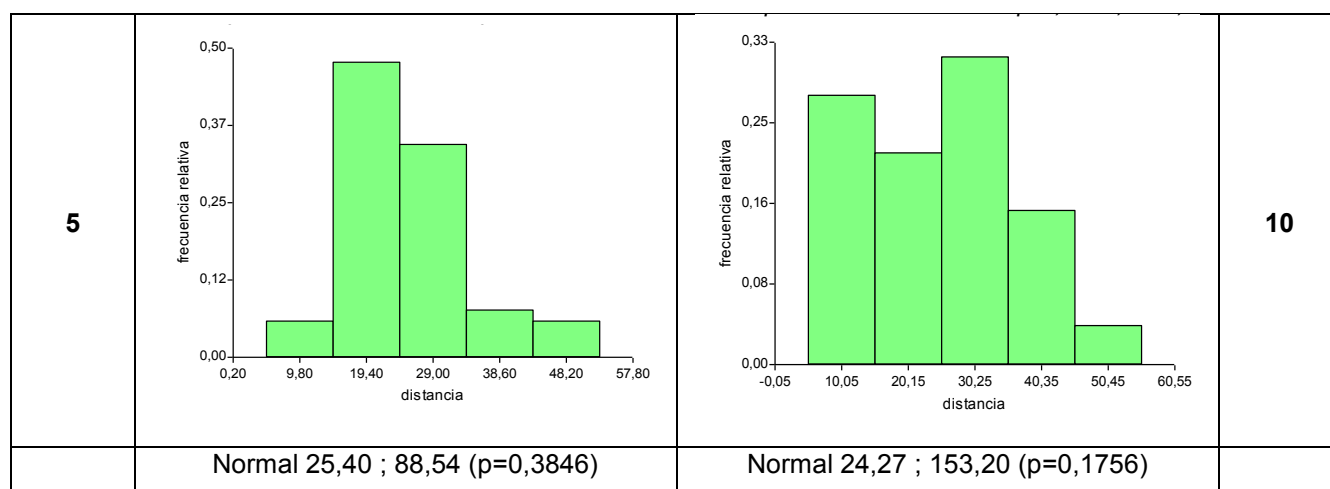
4			9
	Gamma 0,41 ; 10,74 (p=0,6689)	Gamma 0,29 ; 7,22 (p=0,1876)	
5			10
	Normal 27,69 ; 97,91 (p=0,1497)	Normal 26,41 ; 136,54 (p=0,1474)	

Tabla 16. Histogramas de frecuencias relativas del distanciamiento entre plantas en siembra directa y a una velocidad de 8,1 km.h⁻¹

Cuerpo	Asentador		Cuerpo
	SI	NO	
1			6
	Gamma 0,24 ; 6,65 (p=0,6540)	Chi cuadrado 26 (p=0,4258)	

2			7
	Chi cuadrado 27 (p=3886)	Normal 25,55 ; 66,09 (p=0,6249)	
3			8
	Normal 24,91 ; 66,40 (p=0,4005)	Chi cuadrado 27 (p=0,4160)	
4			9
	Chi cuadrado 27 (p=0,5424)	Gamma 0,11 ; 3,182 (p=0,5097)	



6.4 Probabilidad en la ocurrencia de duplicaciones y fallos en la distribución de semillas y plántulas emergidas.

A partir de las distribuciones teóricas de probabilidades de mejor ajuste, que fueron determinadas en los puntos anteriores, se construyeron la Tabla 14 y la Tabla 15 donde se muestran las probabilidades de ocurrencia de duplicaciones (D); fallos (F) y de distanciamientos aceptables (A) calculadas a partir distribuciones teóricas y los valores del distanciamiento de referencia ($X_{ref} = 21,28$ cm); y de los límites para duplicaciones ($0,5X_{ref} = 10,64$ cm) y de fallos ($1,5X_{ref} = 31,92$ cm)

Tabla 17. Probabilidades de ocurrencia de duplicaciones, fallos y aceptables en los distanciamientos de semillas de maíz. Valores en porcentajes [%].

Asentador	Cuerpo	6,7 km.h ⁻¹		
		D	A	F
SI	1	0,7	84,1	15,2
	2	7,0	92,4	0,6
	3	0,1	88,2	11,7
	4	<0,1	>93,8	6,1
	5	<0,1	>99,2	0,7
NO	6	<0,1	>94,9	5,0
	7	<0,1	>96,6	3,3
	8	<0,1	>99,4	0,5
	9	<0,1	>95,3	4,6
	10	0,1	95,3	4,6

Tabla 18. Probabilidades de ocurrencia de duplicaciones, fallos y aceptables en los distanciamientos de plántulas emergidas de maíz. Valores en porcentajes [%].

Asentador	Cuerpo	Labranza convencional						Siembra directa					
		6,7 km.h ⁻¹			8,1 km.h ⁻¹			6,7 km.h ⁻¹			8,1 km.h ⁻¹		
		D	A	F	D	A	F	D	A	F	D	A	F
SI	1	0,2	67,4	32,4	0,2	76,3	23,5	8,9	68,4	22,7	2,3	66,9	30,8
	2	0,1	67,6	32,3	1,7	73,7	24,6	0,2	76,3	23,5	0,2	76,3	23,5
	3	8,9	68,6	22,5	1,1	71,2	27,7	0,5	83,5	16,0	4,0	76,5	19,5
	4	0,1	72,1	27,8	0,1	72,1	27,8	0,7	77,2	22,1	0,2	76,3	23,5
	5	0,5	66,6	32,9	2,6	71,9	25,5	4,2	62,3	33,5	5,8	69,8	24,4
NO	6	0,7	66,5	32,8	0,1	72,1	27,8	0,5	83,5	16,0	0,3	80,1	19,6
	7	0,1	71,0	28,9	3,4	65,8	30,8	4,3	73,0	22,7	3,3	75,0	21,7
	8	0,8	76,2	23,0	0,2	76,3	23,5	0,1	72,1	27,8	0,2	76,3	23,5

	9	0,1	72,1	27,8	2,1	70,3	27,6	3,1	76,2	20,7	9,2	55,0	35,8
	10	7,3	52,6	40,1	7,6	57,9	34,5	8,9	59,2	31,9	13,5	59,7	26,8

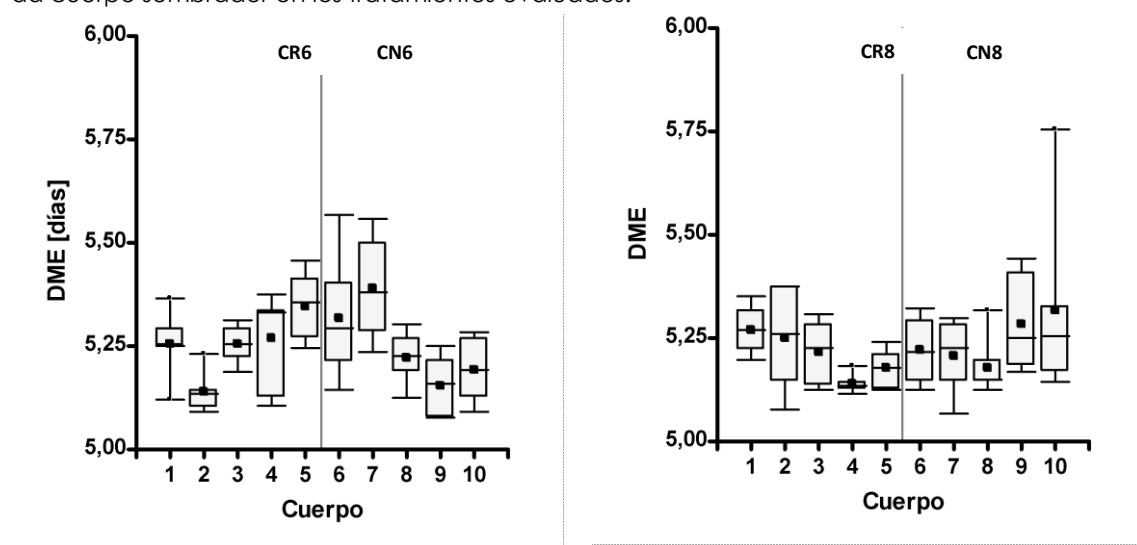
6.5 Emergencia del cultivo y eficiencia de implantación

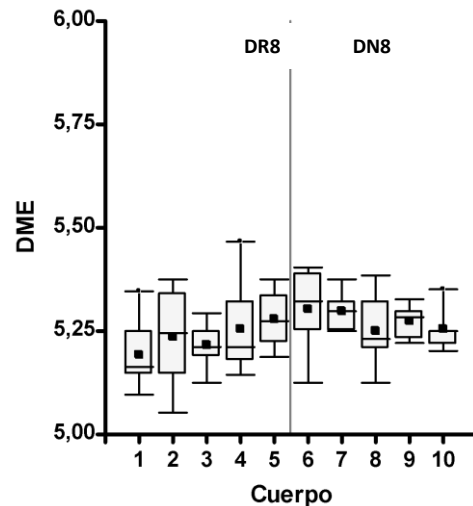
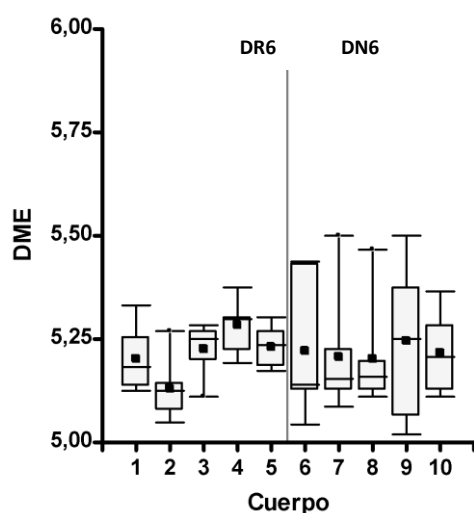
La emergencia del cultivo se valoró con los resultados de la eficiencia de implantación (Tabla 19) y con el día medio a emergencia (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.0)

Tabla 19. Eficiencias de implantación logradas en los cuerpos de siembra ante los distintos niveles de las variables en estudio

Asentador	Cuerpo	Labranza convencional		Siembra directa	
		6,7 km.h ⁻¹	8,1 km.h ⁻¹	6,7 km.h ⁻¹	8,1 km.h ⁻¹
SI	1	0,84	0,95	0,84	0,84
	2	0,89	0,89	0,89	0,89
	3	0,95	0,84	0,95	0,84
	4	0,89	0,89	0,89	0,94
	5	0,94	0,83	0,94	0,83
NO	6	0,75	0,86	0,75	0,86
	7	0,74	0,84	0,84	0,84
	8	0,90	0,90	0,90	0,90
	9	0,88	0,98	0,88	0,98
	10	0,83	0,83	0,83	0,83

Tabla 20. Gráficos de caja correspondientes al día medio a emergencia (DME) obtenido en cada cuerpo sembrador en los tratamientos evaluados.





7. DISCUSIÓN

7.1 Caracterización de la semilla y efecto de los conjuntos dosificadores

La caracterización de las dimensiones de la semilla de maíz utilizado, en cuanto al ancho y longitud, y su relación con las dimensiones del alvéolo de la placa dosificadora, permiten observar que todas las semillas tienen una gran probabilidad de ser alojadas dentro de los alvéolos de la placa dosificadora. Solamente se observó que un porcentaje pequeño de semillas tuvieron un espesor mayor al espesor de la placa más la separación entre ésta y el mecanismo enrasador, por lo que se cumple parcialmente lo citado por Kepner *et al.* (1972).

De la comparación de los histogramas de frecuencia de los parámetros dimensionales de la semilla de maíz encontrados antes y en forma posterior al pasaje por el conjunto dosificador (Tabla 3), se puede comprobar que no hay una alteración significativa en las distribuciones halladas, por lo que en este caso no hay evidencia de lo expresado por Jasper *et al.* (2006b), en cuanto a una posible clasificación de la semilla por parte de la placa alveolada, y cada conjunto dosificador se comportó en forma similar en este aspecto, por lo que no se puede atribuir responsabilidad al conjunto dosificador en las diferencias en la uniformidad de distribución de semillas.

Como un resultado complementario a los histogramas, el cálculo de la esfericidad de la semilla, según la ecuación citada por Mohsenin (1986), se muestra en la Tabla 4. Los valores de esfericidad son similares a los reportados en otras experiencias como Karayel *et al.* (2004), y Coskun *et al.* (2006), pero inferiores a las esfericidades halladas por Aydin *et al.* (2002). En concordancia a los trabajos de los autores citados en este párrafo no se puede afirmar la existencia de evidencia en un efecto de clasificación de la semilla dosificada. Basado en la experiencia de Jasper *et al.* (2006b), los resultados de esfericidad de la semilla utilizada la clasificarían como "achatada", con lo cual se podrían esperar valores significativos de duplicaciones o fallos. Estos autores tomaron como semilla achatada a aquella que pudo alojarse en correctamente en una placa con alveolos de 14,0 mm y 15,0 mm de diámetro superior e inferior respectivamente, y de 4,3 mm de espesor.

Se destaca la importancia para éste tipo de dosificadores mecánicos de la correcta selección y regulación que los mecanismos intervinientes en esta función, lo que genera serias pérdidas de semilla viable, muchas veces no detectada visiblemente, de acuerdo a lo expresado por Tourn (2005) y Tourn *et al.* (2006). A esta situación se puede atribuir el incremento en el porcentaje de rotura visible en algunos cuerpos de la máquina sembradora (Tabla 2), según lo expresado por Dos Santos *et al.* (2003) con la consecuente disminución en el coeficiente de viabilidad de la semilla descargada, en coincidencia con lo observado por Tourn *et al.* (1996); pero se pue-

den considerar a los valores de viabilidad logrados para cada uno de los cuerpos sembradores, como aceptables.

Los resultados de los análisis que caracterizan a la semilla en cuanto a sus dimensiones y al daño generado en éstas por los conjuntos dosificadores, no aportan evidencia suficiente para afirmar un efecto directo de estas variables sobre la generación de alteraciones en los distanciamientos de semillas y/o plántulas emergidas.

7.2 Variabilidad en la distribución de semillas lograda en la regulación de la sembradora

Un primer análisis de la uniformidad en la distribución de semillas, mediante herramientas de estadística descriptiva, permite inferir un comportamiento uniforme de los cuerpos sembradores en la regulación de la máquina. Las diferencias que se pueden observar no constituyen alteraciones que afecten agrónomicamente el logro de la población de plantas objetivo.

En el Gráfico 1 se muestran los diagramas de caja construidos con los datos de los distanciamientos de semillas, apreciándose los límites de duplicaciones y fallos. Puede observarse como prácticamente todos los datos pertenecen al rango de distanciamientos aceptables, y como todos los cuerpos presentan una variabilidad similar. Se observa asimismo una tendencia hacia distanciamientos mayores al de referencia (22,2 cm); al mismo tiempo se ve que solo se hallaron pocos datos sesgados (como puntos en el gráfico) hacia las colas de las distribuciones poblacionales de cada cuerpo. Estos datos sesgados se contabilizaron en mayor medida en la zona de fallos. Esta observación puede ser atribuida a los eventos comentados por Kühnberg (1968) (citado por Bufton *et al.*, 1974), en cuanto a la conducción (posibles rebotes); impacto sobre la superficie del suelo, lo cual puede generar rebote y rodado de las semillas, y ser proyectadas en diferentes direcciones.

La uniformidad en la distribución de semillas, para cada uno de los cuerpos sembradores, fue caracterizada mediante la construcción de los índices de calidad de siembra según la norma ISO 7256/1-1984(E).

En la Tabla 9 se muestran los porcentajes de distanciamientos aceptables entre semillas, es decir el porcentaje de distanciamientos comprendidos entre 11,1 cm y 33,3 cm. Se puede observar la variación que existe entre las configuraciones del tren de siembra ensayadas (con y sin rueda asentadora de semillas), y para cada una de ellas la variación entre cuerpos. Los cinco cuerpos alistados con rueda asentadora de semillas tuvieron valores máximos y mínimos de 87,8% y 98,0% respectivamente (amplitud de 10,2%), mientras que en aquellos alistados sin rueda asentadora la amplitud fue de 5,1% (valor mínimo de 92,9% y máximo de 98,0%). Al mismo tiempo, el índice de precisión que se muestra en la Tabla 12, también evidencia una tendencia a disminuir su amplitud entre valores máximos y mínimos cuando se alista el tren de siembra sin la rueda asentadora de semilla: 4,1% en los cuerpos con rueda asentadora y 2,7% en sin la presencia de ese accesorio.

Los resultados de los índices de distanciamientos aceptables y de precisión logrados en la regulación de la sembradora, es un indicador del efecto negativo del accesorio en la uniformidad de semillas. Pero como se notará en los resultados de la uniformidad de distanciamientos de plantas emergidas, el alistamiento o no con este accesorio no tendrá una incidencia significativa sobre el *stand* de plantas logradas a emergencia. Esta disparidad da fuerza a la idea que las condiciones de regulación de una máquina sembradora deben ser las más semejantes posible a las condiciones reales de trabajo, y refuerzan el concepto de la verificación continua de la labor.

Los distanciamientos entre semillas comprendidos entre 0,0 y 11,1 cm, las duplicaciones, se muestran en la Tabla 10. Aquí también se puede observar que la menor disparidad entre cuerpos ocurrió con la configuración sin rueda asentadora, dado que tuvo un valor de 3% respecto al de 6,1% hallado en los cuerpos con rueda asentadora.

Los fallos, Tabla 11, es decir, aquellos distanciamientos entre semillas superiores a 33,3 cm, muestran una mayor variación en los cuerpos con rueda asentadora, 4,1%, respecto a los alistados sin ese accesorio que tuvieron una variación del 2%.

Estos resultados en la uniformidad de distanciamiento de semillas son contrarios a lo esperado. Una posible explicación es que para la condición de suelo donde se reguló la máquina, la carga que poseían las ruedas asentadoras de semilla no era la correcta, por lo que o bien no cumplieron con su función de presionar ligeramente las semillas contra el fondo de surco, o porque el suelo donde se realizó la regulación presentara poca reacción al rodado de este accesorio lo cual generó un alto valor de patinamiento de esta rueda, que al ser traccionada con el arrastre de la sembradora, al patinar no gira, transformándose así en un elemento fijo que puede empujar las semillas hacia delante en la línea de siembra. Éste es un efecto muchas veces atribuido a los asentadores de semilla del tipo lengüeta. Es factible que ambos eventos ocurran en forma individual o conjunta, y con distinta preponderancia. De todas formas la consecuencia es la de aumentar los índices de fallos y duplicaciones, en detrimento del índice de distanciamientos normales entre semillas.

En los histogramas de la Tabla 6 se muestran las frecuencias relativas halladas en cada categoría de los distanciamientos de semillas, y en cada cuerpo. Estos gráficos ofrecen una información más detallada que los diagramas de caja, y a partir de ellos se pudo determinar una función teórica de densidad. A partir de la observación de los diagramas de caja, se esperaban distribuciones que ajusten a una normal; resultado que fue confirmado para todos los cuerpos por el test de Kolmogorov, menos para el cuerpo 7 cuya mejor función de ajuste fue una distribución gamma. Si bien esto ocurrió para una única unidad de siembra de la máquina, el resultado de bondad de ajuste de funciones teóricas de densidad, permite inferir que cada cuerpo genera un patrón de distribución particular durante la regulación de la máquina; por lo cual puede preverse que la aparición de alteraciones en los distanciamientos de semillas es una respuesta intrínseca de cada unidad de siembra ante modificaciones del entorno donde opera.

7.3 Variabilidad en la distribución de plantas logradas a la emergencia del cultivo

Cuando se evaluó el desempeño del equipo de siembra con las distintas configuraciones del tren de siembra, a las dos velocidades de avance y en las dos situaciones de regímenes de labranza, se observa que para ninguna de las combinaciones planteadas los índices que caracterizan la uniformidad de distribución de plantas emergidas son similares a los calculados en la evaluación de la distribución de semillas. (Tabla 9; Tabla 10; Tabla 11 y Tabla 12)

Una primera explicación es la diferencia del cálculo para cada uno de los índices de calidad de siembra entre las dos metodologías empleadas en este ensayo, y que se muestra en la Tabla 1. La diferencia está en que la metodología propuesta por Kachman y Smith (1995) que considera a los fallos como simples, es decir, solo computa la ausencia de una sola planta entre dos sucesivas; la norma ISO 7256/1 – 1984 (E) pondera a los fallos según sean simples; dobles o triples. Por otra parte el primer método mencionado, toma como número total de distanciamientos a la simple suma de datos pertenecientes a duplicaciones; aceptables y fallos. El segundo método toma como número de distanciamientos a la suma de aquellos considerados como aceptables más los fallos simples; dobles y triples; y se descarta la cantidad de duplicaciones relevadas.

Una segunda causa es que entre el momento en que la semilla es depositada en el suelo y el momento de la emergencia, pueden ocurrir eventos que afecten al logro de una plántula, como los enunciados por Kühnberg (1968) (citado por Bufton *et al.*, 1974). Muchos de estos eventos no son responsabilidad de la máquina sembradora, ni de su operación, sino que se deben a características intrínsecas de la semilla que se está sembrando, o a condiciones ambientales adversas. Estos eventos no son contemplados durante el cálculo de los índices de calidad según la propuesta de Kachman y Smith (1995), lo que puede tener un error en la cuantificación de fallos dado que no permite diferenciar si un fallo es responsabilidad de la sembradora o si es resultado de un factor ambiental que haya malogrado la generación de una o varias plántulas.

Los índices obtenidos según la norma ISO 7256/1 – 1984 (E) reflejan con más precisión el comportamiento del conjunto dosificador, al cuantificar la distancia entre semillas sin tener en cuenta como los restantes elementos del tren de distribución afectan a dichos distanciamientos. Cabe aclarar que el ensayo de la norma citada se realiza en un banco donde no se ponen en evidencia la vibración de la máquina ni el patinamiento de la rueda motriz, dos variables de la operación de siembra que hacen al logro de la uniformidad de distribución.

Independientemente a lo comentado en el párrafo anterior, ninguna de las dos metodologías permite inferir a partir de los resultados que arrojan qué responsabilidad tiene el tratamiento que otorgan los conjuntos dosificadores a la semilla, tal como lo advierten Tourn (2005) y Tourn *et al.*, (2006).

El análisis visual en la distribución de plántulas emergidas de maíz a partir de los datos de Tabla 7, muestra la ausencia de un patrón en la ocurrencia de alteraciones (duplicaciones y fallos) en el distanciamiento de plántulas; ni que a una duplicación le sigue un fallo, como se podría prever por la ocurrencia de un desplazamiento de la semilla en el surco generado por el arrastre de la rueda asentadora; de las ruedas cubridoras – compactadoras; o por acción de la energía cinética de la semilla al salir del tubo conductor.

La Tabla 7 permite evidenciar un incremento de las alteraciones al incrementar la velocidad de 6,7 km.h⁻¹ a 8,1 km.h⁻¹ cuando se trabajó en siembra directa, observación que concuerda a lo expresado por Liu *et al.* (2004c); García *et al.* (2006); Mello *et al.* (2007); Bozdoğan (2008); De Simone y Godoy (2008); de Oliveira Dias *et al.* (2009) y por Tesouro *et al.* (2009). También se puede observar una mejor distribución en los tratamientos DR6 y DN6; y cómo la desuniformidad aumenta en los tratamientos con labranza (Tabla 8), resultado que difiere a lo reportado por Karayel y Özmerzi (2002) y por Mangas *et al.* (2009). Basado en lo expresado por Fornstrom y Miller (1989), esta observación puede atribuirse a la conformación del surco de siembra, en un suelo laboreado en forma previa a la siembra, tiene una menor rugosidad, lo cual facilitaría el desplazamiento de aquella semilla que descargue con altos niveles de energía cinética, niveles que se elevan según características del diseño de la sembradora como los estudiados por Barmington (1948); Bernacki *et al.* (1972); Kepner *et al.* (1972); Bufton *et al.* (1974); Klenin *et al.* (1986 a y b) y Endrerud (1999).

Los niveles de la variable del diseño puesto a prueba en este trabajo, presencia o no de un accesorio asentador de semilla tipo rueda, no son factibles de calificar a partir de la observación de la Tabla 7. Todos los tratamientos mostraron un comportamiento similar en los esquemas de distribución, lo cual permitiría sugerir que en condiciones similares a las ensayadas, la buena o mala distribución de plántulas por alistar al tren de siembra con el tipo de accesorio asentador estudiado, no sería fácilmente detectable por simple observación del *stand* de plantas a campo.

Los resultados reflejados en la Tabla 10 y Tabla 11, muestran cómo los índices de fallos y duplicaciones se incrementan al comparar el distanciamiento entre plantas emergidas, respecto del distanciamiento entre semillas. Cada uno es calculado en forma diferente, y reflejan, y a la vez ocultan eventos diferentes.

Al comparar los valores de duplicaciones de plántulas con los de semillas (Tabla 10), se encuentran valores similares antes cada combinación de los niveles de las variables respuesta. Esta es una respuesta esperable, dado que la generación de una duplicación es consecuencia de una serie de factores intrínsecos a la conformación de la sembradora; a su regulación y a su operación. Por otra parte, ya se pudo ver anteriormente que la ocurrencia de duplicaciones no estuvo precedida o sucedida de fallos en la gran mayoría de los casos; lo cual permite descartar la existencia de una dependencia significativa entre ambos sucesos.

Solo el cuerpo 10 presentó una marcada diferencia en el porcentaje de duplicaciones, respecto de los demás cuerpos. Esto se mantuvo en todas las velocidades y regímenes de laboreo ensayados haciendo suponer que existió un efecto propio del cuerpo sembrador sobre los distanciamientos de plántulas. No hay evidencia que permita discernir en que elemento del cuerpo recae la mayor responsabilidad en este resultado; pero es posible observar que la misma regulación de la distribución de semillas no pudo ser ajustada a una distribución estadística conocida (Tabla 6); lo cual es signo de una respuesta con una alta variabilidad. Y esto a pesar de lograr un índice de duplicaciones bajo, 4,0%, según la metodología ISO 7256/1 – 1984 (E).

El cuerpo 3 a la velocidad de 6,7 km.h⁻¹, en labranza convencional, también mostró este comportamiento ante esta combinación de niveles en las variables citadas. Aquí cobra fuerza la hipótesis de un efecto de una variable de ambiente, no relevada en este trabajo, sobre el que transitó la sembradora, y que afectó la distribución lograda por este cuerpo.

Descartando los resultados sesgados de los cuerpos 1; 3 y 10, la presencia o no de la rueda asentadora de semillas, no mostró un resultado sustancialmente diferente entre ambas opciones de alistamiento del tren de siembra. Es por ello que puede sostenerse que este accesorio

no influye en la generación de duplicaciones ante las condiciones del ensayo y niveles de las variables respuestas evaluadas.

El porcentaje de fallos si se mostró muy diferente cuando se comparan los resultados de los distanciamientos de semillas y los de plántulas (Tabla 11). Este resultado es esperable, dado que la metodología que mide distanciamiento entre semillas lo hace en un momento del ciclo del cultivo diferente del de la medición de plántulas emergidas. Es sabido que entre la deposición de la semilla en el fondo de un surco de siembra, y la emergencia de una plántula, ocurren una serie de eventos que pueden modificar el logro de las plántulas. Dichos eventos pueden ser características de la semilla; del suelo; o de la presencia de predadores. Estos siempre se hallan presentes, lo que puede diferir es la magnitud de su ocurrencia; por lo que es prácticamente irreal esperar que los distanciamientos entre plántulas emergidas tengan un grado de precisión semejante a los distanciamientos de las semillas descargadas.

La Tabla 12 muestra los índices de precisión calculados a partir de los distanciamientos aceptables de semillas y plántulas, según las respectivas metodologías empleadas. Se encontró que la precisión de los cuerpos sembradores arroja mejores valores de distanciamientos entre semillas respecto al de plántulas emergidas; y esto para cada tratamiento evaluado. Esta mayor imprecisión es explicada por lo comentado anteriormente respecto a la forma de calcular los fallos según la metodología de Kachman y Smith (1995). Al mismo tiempo puede observarse que en los tratamientos con labranza convencional se encuentran los mayores valores de imprecisión, dándose el mayor número de casos a la mayor velocidad evaluada. Esto puede ser atribuido a lo expresado por Fornstrom y Miller (1989) respecto a que la preparación de la cama de siembra, en forma previa a la siembra, genera condiciones de surco con rugosidad lo que facilitaría el desplazamiento de la semilla que se descargue con altos niveles de energía cinética. En esto puede colaborar el diseño de las máquinas para siembra directa, donde hay una mayor altura de caída desde el conjunto dosificador, respecto de las de siembra convencional. Al mismo tiempo, se observa que ante la mayor velocidad de operación, para cada sistema de labranza, el grado de imprecisión tiende a aumentar, resultado que concuerda con lo expresado por Karayel (2009)

Es de destacar que la imprecisión por el efecto combinado de una baja rugosidad del surco y la altura de caída, llegó a ser tal que se superó el máximo valor tolerable para el índice de precisión, citado por Kachman y Smith (1995), que es del 29%

La Tabla 13; Tabla 14; Tabla 15 y Tabla 16 muestran las funciones estadísticas con mejor ajuste halladas para cada tratamiento, en el distanciamiento de plántulas emergidas.

Se encontró que no se puede considerar a la distribución de semillas como representativa de las distribuciones de plántulas, dado que las funciones halladas en la regulación de la sembradora no tuvieron correspondencia al recabar los datos de distanciamientos en forma posterior a la emergencia del cultivo. También, las funciones estadísticas de los distanciamientos de plántulas no se mantuvieron al modificar los niveles de las variables de estudio. Estas diferencias en las funciones estadísticas de densidad, pueden ser atribuidas a la ocurrencia de eventos externos a la regulación y operación del equipo de siembra; como (i) la viabilidad de la semilla, (en este trabajo se descarta una incidencia de los conjuntos dosificadores en virtud a los resultados mostrados en la Tabla 2); (ii) condiciones sanitarias del sitio de implantación y/o (iii) humedad del suelo cercana al lugar de deposición de la semilla. Estos eventos no son contemplados por la norma ISO 7256/1 – 1984 (E); pero si lo son por la metodología de Kachman y Smith (1995), aunque no los individualiza.

Las funciones de densidad de mejor ajuste halladas muestran una tendencia a mayores valores de frecuencias relativas en su cola izquierda; esto es una tendencia a la zona de duplicaciones. La tendencia encontrada puede también ser corroborada, al observar que en la gran mayoría de los casos, las funciones de mejor ajuste resultaron ser una función gamma o chi cuadrado; y en los casos que resultó una distribución normal es posible visualizar las mayores frecuencias relativas en el extremo izquierdo. Esta observación no puede detectarse con facilidad a partir de los índices de calidad. De todas formas, la tendencia a duplicaciones no fue observada al momento de analizar los histogramas de distanciamientos entre semillas. Cabe así inferir que los niveles de las variables de estudio tuvieron un efecto en este comportamiento, al generar distintos patrones de distribución con la tendencia mencionada.

Conociendo los parámetros que caracterizan a las funciones estadísticas de densidad para los distanciamientos de semillas y de plántulas emergidas, es posible calcular las probabilidades

de ocurrencia de duplicaciones; fallos y de distanciamientos aceptables. La Tabla 17 muestra dichas probabilidades para el caso de los distanciamientos entre semillas; mientras que la Tabla 18 lo hace para el caso de los distanciamientos entre plántulas emergidas.

En el primer caso, el cálculo de las probabilidades de obtener distanciamientos entre semillas aceptables, durante la regulación de la sembradora, arroja valores altos; con la salvedad de los cuerpos 1 y 3, que fueron alistados con el accesorio asentador de semillas, el resto de los cuerpos tiene una probabilidad de ocurrencia para el índice de aceptables superior al 90%. Al mismo tiempo se encontró que la ocurrencia de duplicaciones estuvo por debajo del 1%, a solo excepción del cuerpo 2, donde la probabilidad fue del 7%. Esto hace asumir el buen comportamiento de los conjuntos dosificadores de cada cuerpo de siembra, y confirma lo encontrado al correlacionar la forma de las semillas con las dimensiones de los alvéolos de las placas dosificadoras, en cuanto a que no hay evidencia de la descarga de más de una semilla por alvéolo.

Para los distanciamientos entre semillas, la probabilidad en la ocurrencia de fallos es superior a la de duplicaciones, y tiene un rango mucho mayor. Es probable que la generación de un fallo, en el distanciamiento entre semillas, esté más influenciada por las características de los elementos que conforman en tren de distribución y por la vibración de la máquina. En este sentido, se descarta una posible incidencia del tamaño del alvéolo dado los resultados mostrados en el apartado 6.1 “Análisis de la semilla”, donde se ve que los conjuntos dosificadores no influyeron con daño mecánico o con un proceso de selección a la semilla utilizada. Una primera hipótesis permite sugerir que ante la ocurrencia de un fallo, debe seguir la observación de una duplicación; esto cuando la semilla es descargada. **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** La evidencia recolectada no permite aseverar esa causalidad en los distanciamientos entre semillas. Lo comentado al analizar la Tabla 7 y la Tabla 8 también contribuye a suponer que el desplazamiento de las semillas desde el punto donde deberían quedar, y que está determinado por el distanciamiento de referencia, no incide en forma directa en la ocurrencia de duplicaciones; por lo que es de suponer que existen otros factores que interactúan con distintas ponderaciones sobre la ocurrencia de los distanciamientos entre semillas.

Al calcular las probabilidades de ocurrencia de cada categoría de distanciamiento entre plántulas emergidas, y comparar los resultados con lo hallado para el distanciamiento entre semillas, se observa que: (i) hay una menor probabilidad de encontrar duplicaciones en cada uno de los cuerpos de la sembradora, y (ii) las probabilidades de ocurrencia de fallos es mucho mayor; (iii) las dos observaciones anteriores se mantienen en cada uno de los tratamientos evaluados; (iv) los rangos de probabilidades para cada índice son muchos mayores; (v) no hay evidencia que permita aseverar que la presencia del accesorio asentador tipo rueda, genere una mejor distribución de plantas o, que por el contrario, aumente la desuniformidad.

Lo comentado en el párrafo anterior, permite volver a inferir la influencia de diversos factores que se manifiestan, con distinto nivel de incidencia, entre la descarga de las semillas en la placa alveolada del dosificador y la emergencia de la plántula. A este punto, se puede aseverar que la evaluación de una máquina sembradora por medio del análisis de los distanciamientos logrados entre plántulas emergidas, es por lo menos arriesgado si no se contemplan las diferentes causas que pueden generar alteraciones al distanciamiento esperado. Este es el manejo de la mayor información posible para implementar con éxito la llamada agricultura de precisión, como lo expresan Tschiedel y Ferreira (2002)

Los resultados de los análisis de la uniformidad en la distribución de semillas y de plántulas, como el estudio de probabilidades, permite aceptar las hipótesis 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7 y 8 de este trabajo, dado que los índices calidad para el distanciamiento entre semillas difieren de los índices de calidad para el distanciamiento entre plantas emergidas cuando se modificó el régimen de labranza, la velocidad de operación y se alistó o no el tren de siembra con una rueda asentadora de semilla. Se destaca que los resultados sugieren que la presencia de un asentador de semilla en el tren de distribución tiene una incidencia menor que las restantes variables de estudio: régimen de labranza y velocidad de operación en los distanciamientos de plantas emergidas.

Los cuerpos de siembra mostraron tener comportamientos diferentes ante las distintas condiciones de suelo, velocidad de avance, y a la presencia del accesorio asentador de semilla. Se destaca el cuerpo 10, donde se ven las mayores probabilidades de ocurrencia de alteraciones al distanciamiento de referencia, ante las distintas velocidades y régimen de labranza empleado, lo cual es indicativo de la incidencia de un factor intrínseco del cuerpo de siembra y/o del

ambiente de siembra que no pudo ser controlado en el planteo de este ensayo. Esto permite rechazar la hipótesis 9, la cual expresa que “las unidades de siembra que conforman una máquina sembradora tienen el mismo logro de distanciamientos entre plantas emergidas”.

Esto implica la necesidad de un análisis integral de la máquina contemplando la variabilidad entre sus unidades de trabajo. Conocer dicha variabilidad es conocer la precisión de trabajo de la sembradora, lo que aporta a lo citado por Smith (1967); y dicha precisión deber ser acorde al nivel de sensibilidad de los datos que se utilizan para su regulación, o para la modificación de la misma ante cambios del sitio de siembra; siendo muchas veces el grado de sensibilidad de datos muy superior a la precisión de la sembradora, es decir a su capacidad de respuesta; en la cual juega un papel importante lo citado por Maleki *et al.* (2008) respecto a los tiempos de respuesta.

7.4 Emergencia del cultivo

En la Tabla 19 se observan los resultados de la eficiencia de implantación (E_i) logrados en cada uno de los cuerpos ante los distintos tratamientos realizados. No se hallaron diferencias significativas entre las eficiencias de implantación obtenidas en cada cuerpo, al hacer comparaciones entre los distintos niveles de las variables en estudio (el menor valor p hallado es de 0,0761). A pesar de ello es posible observar que el rango de dispersión de datos, dado por la amplitud entre el valor máximo y mínimo de E_i , es mayor en el caso de los cuerpos de siembra alistados sin el accesorio asentador de semillas tipo rueda, y esto para ambos regímenes de labranza. Esto sugiere, y aunado a lo comentado en los apartados anteriores, que la presencia de este accesorio en el tren de siembra tiene una incidencia directa sobre el contacto de la semilla con el suelo; no influyendo, para las condiciones evaluadas, en su distribución.

Independientemente a lo anterior, los valores de la eficiencia de implantación son aceptables para el cultivo de maíz. Los valores más bajos de 0,74 y 0,75 encontrados, no pueden atribuirse a daño mecánico por parte de los conjuntos dosificadores, dado que no hubo evidencia de ello al analizar la semilla descargada por los dosificadores; por lo cual se plantea la hipótesis de la incidencia de un efecto del ambiente del sitio de siembra dado que ambos valores fueron encontrados en cuerpos vecinos.

La Tabla 20 muestra los gráficos de caja donde se ve la variabilidad en el día medio a emergencia (DME) para cada uno de los cuerpos de siembra para ambos régimen de labranza; y velocidades. El DME puede tomarse como índice que está relacionado con la profundidad de siembra, por lo que al no encontrarse diferencias significativas para los distintos análisis de comparaciones entre las variables de estudio involucradas, se puede afirmar que no se habrían generado diferencias en las profundidades de siembra, lo cual es un resultado que concuerda con lo hallado por Chen *et al.* (2004) y por Tesouro *et al.* (2009). De todas formas, la estadística descriptiva por medio de los diagramas de caja permite observar las variabilidades halladas en los cuerpos de siembra para las diferentes variables de estudio.

En forma descriptiva no se puede visualizar un patrón que permita intuir algún efecto de la velocidad o del régimen de labranza. Solo puede verse una tendencia a una menor dispersión de los resultados del DME en siembra directa a la velocidad de $6,7 \text{ km.h}^{-1}$, en los cuerpos alistados con el accesorio asentador de semillas. Esto puede atribuirse a que en condiciones de suelo con poca remoción, como es de esperar en esta combinación de velocidad y régimen de labranza, la presencia de este accesorio genere un mejor contacto suelo semilla. La tendencia citada no se observa al incrementar la velocidad a $8,1 \text{ km.h}^{-1}$, posiblemente por el mejor trabajo de la cuchilla labrasurco sobre el suelo no laboreado en forma previa.

Bajo el régimen de labranza convencional, donde es de esperar una conformación homogénea de la cama de siembra donde transitaban los cuerpos de la máquina sembradora, existió una mayor disparidad en el DME. Esto podría ser evidencia de un comportamiento diferencial en la acción de los paralelogramos articulados a pesar de haber sido regulados de la misma manera, mecanismos que vinculan el cuerpo de siembra con el bastidor de la máquina. Ante un suelo suelto, estas diferencias de carga podrían verse magnificados en su expresión del logro de una profundidad de siembra, la cual está relacionada con el DME; esto suponiendo una temperatura y humedad del suelo adecuada para la germinación y emergencia del cultivo.

Los resultados de eficiencia de implantación y del día medio a emergencia permiten afirmar que en el presente ensayo se cumplió con lo referido por Maroni *et al.* (2001) respecto al logro

de una siembra de calidad. Como las diferencias en el día medio a emergencia entre tratamientos no fueron significativas es de esperarse que no se observen diferencias en el rendimiento, como lo expresa Nafziger *et al.* (1991). Al mismo tiempo, lo comentado permite rechazar la hipótesis 3), en la cual se expresa que existe un efecto del régimen de labranza, la presencia de un accesorio asentador de semillas y la velocidad de avance sobre la uniformidad en la emergencia y la eficiencia de implantación del cultivo de maíz.

8. CONSIDERACIONES FINALES

No hay una fuerte evidencia que permita suponer que la regulación los conjuntos dosificadores de la sembradora tengan una incidencia directa sobre la ocurrencia de alteraciones en la distribución de semillas, ni que se vea reflejada con cierta fidelidad en la distribución de plántulas emergidas. Las dos metodologías utilizadas en este trabajo para calificar la siembra de un cultivo reflejan en sus resultados la interacción un conjunto de eventos, mechas veces de ocurrencia y nivel de incidencia aleatorios.

En la calificación de la labor de siembra debe tenerse en cuenta que la regulación de la sembradora es una medida acotada del proceso de siembra y que suele realizarse en condiciones que puede diferir sustancialmente de las que pueden presentarse durante la labor.

Dado lo engorroso de la determinación de la uniformidad en los distanciamientos entre plántulas emergidas es que esta determinación suele realizarse en un lugar acotado de la superficie ocupada por un cultivo. Esto plantea el interrogante sobre si es posible hallar diferencias significativas en los índices de calidad de Kachman y Smith entre evaluaciones realizadas en distintos sitios de un lote.

Integrando lo comentado en los dos párrafos anteriores se puede poner a prueba la existencia o no de diferencias entre la uniformidad en el distanciamiento entre semillas y entre plántulas emergidas y si ésta diferencia se mantiene ante distintas condiciones presentes en un lote de producción.

A partir del análisis de distintos casos donde se correlacionen distribuciones de semillas y de plántulas emergidas, ante distintos alistamientos; regulaciones y forma de operación de los equipos de siembra, se estaría en condiciones de postular un modelo de regresión a partir del cual se pueda predecir, con un grado de confianza aceptable, la distribución de semillas, y por ende el comportamiento del conjunto dosificador, a partir de una distribución de plántulas emergidas. Al mismo tiempo, se conocería el grado de ponderación con el que distintos factores del equipo de siembra y de su operación inciden en la generación de distanciamientos.

9. CONCLUSIONES

La evaluación de la uniformidad en la distribución de semillas, según la norma ISO 7256/1–1984(E), es una metodología que solo permite evaluar el comportamiento de los conjuntos dosificadores de semillas, sólo en lo que respecta a la posición de la mismas según un distanciamiento de referencia.

La metodología de Kachman y Smith (1995) al evaluar los distanciamientos entre plántulas emergidas, muestra el resultado de la interacción de los numerosos eventos que ocurren desde que una semilla con una cierta viabilidad se ubica en un alvéolo de la placa dosificadora, hasta la emergencia de la planta producto de esa semilla viable.

En los regímenes de labranza descriptos en este ensayo, la presencia de un accesorio asentador de semillas tipo rueda mejoró la eficiencia de implantación a velocidades de 6,7 y 8,1 km.h⁻¹

10. BIBLIOGRAFÍA

- Amado, M.; M.C. Tourn; H. Rosatto.** 2005. Efecto de la velocidad de avance sobre la uniformidad de distribución y emergencia de maíz. Avances en ingeniería agrícola 2003 – 2005. VIII Congreso Argentino de Ingeniería Rural. Villa de Merlo, San Luís. 77-81 ISBN 987-05-0140-0
- Andrade, F.; E. Abbate.** 2005. Response of maize and soybean to variability in stand uniformity. *Agronomy Journal* 97:1263-1269.
- Arce, H.S.** 1999. Presupuestos, costos y decisiones de empresas agropecuarias. Ed. Macchi. Buenos Aires, Argentina. 324 pp. ISBN: 950-537-436-4
- Aydin, C.; H. Ögüt; M. Konak.** 2002. Some physical properties of Turkish Mahaleb. *Biosystems Engineering* 82(2):231–234
- Baker, C.J.; K.E. Saxton; W.R. Ritchie.** 2002. Chapter 7, Seed metering and placement. In: No-Tillage Seeding, Science and Practice. CAB International. Wallingford, United Kingdom. ISBN: 0 85199 103 3. p 98-99.
- Bahrani, M.J.; M.H. Raufat, H. Ghadiri.** 2007. Influence of wheat residue management on irrigated corn grain production in a reduced tillage system. *Soil & Tillage Research* 94:305-309
- Barmington, R.D.** 1948. The relation of seed, cell size, and speed to beet planter performance. *Agriculture. Engineering.* 29:530-532
- Bernacki, H.; J. Haman; Cz. Kanafojski.** 1972. Drill seed tubes. In: *Agricultural machines, theory and construction.* Vol. 1. Warsaw, Poland. 654 – 656.
- Bilbro, J.D.; D.F. Wanjura.** 1982. Soil crusts and cotton emergence relationships. *Transaction of the ASAE* 25(6):1484-1487
- Boydas, M.G.; N. Turgut.** 2007. Effect of vibration, roller design, and seed rates on the seed flow evenness of a studded feed roller. *Applied Engineering in Agriculture* 23(4):413-418
- Bozdoğan, A.M.** 2008. Seeding uniformity for vacuum precision seeders. *Science Agriculture* 65(3):318-322
- Bragachini, M; A. von Martini; A. Méndez; R. Bongiovanni.** 2002a. Avances en la agricultura de precisión en Argentina. Tercer taller internacional de agricultura de precisión del cono sur de América. Carlos Paz, Córdoba. 7 pp.
- Bragachini, M; A. von Martini; A. Mendez; F. Pacioni; M. Alfaro.** 2002b. Siembra de maíz, eficiencia de implantación y su efecto sobre la producción de grano. Tercer Taller Internacional de Agricultura de Precisión del Cono Sur de América, 17-19 Diciembre 2002, Carlos Paz, Córdoba, Argentina. 9 pp
- Bragachini, M.; A. Méndez; F. Scaramuzza; J.P. Vélez; D. Villarroel.** 2009. Impacto económico de la siembra de maíz a alta velocidad. En *Actas del X Congreso de Ingeniería Rural y II del MERCOSUR.* 1ra Ed. UNR Editora. p 64-68 (en CD-ROM) ISBN 978-950-673-748-1
- Breece H. E., H. V. Hansen y T.A. Hoemer.** 1992. Sembradoras en hileras. En: *Fundamentos de funcionamiento de maquinaria: Siembra.* Deere & Co, Moline, Illinois. EE.UU. pp18-91.
- Buften, L.P.; Richardson, P.; O'Dogherty M.J.** 1974. Seed displacement after impact on a soil surface. *Journal of Agricultural Engineering Research* 19: 327-338
- Celik, A.; I. Ozturk; T.R. Way.** 2007. Effects of various planters on emergence and seed distribution uniformity of sunflower. *Applied Engineering in Agriculture.* 23(1):57-61
- Chaudhuri, D.** 2001. Performance Evaluation of Various Types of Furrow Openers on Seed Drills. A Review. *Journal of Agricultural Engineering Research* 79(2):125-137
- Chen Y.; S. Tessier; B. Irvine.** 2004. Drill and crop performances as affected by different drill configurations for no-till seeding. *Soil and Tillage Research* 77:147-155
- Coskun, B.M.; I. Yalcin; C. Ozarslan.** 2006. Physical properties of sweet corn seed (*Zea mays saccharata* Sturt.) *Journal of Food Engineering* 74:523–528
- De Simone, M.E; A. Godoy.** 2008. Calidad de implantación de maíz y poroto en relación al diseño y regulación de la sembradora. Ensayo presentado por INTA – PRECOP. [En línea]

[Consulta: 11 de abril de 2009]<<http://www.cosechaypostcosecha.org/data/ensayos/2008/CalidadImplementacionMaizYPorotoEnRelacionASembradora.pdf>>

Delafosse R. 1986. Máquinas sembradoras de grano grueso. Santiago, Chile; Oficina Regional de la FAO Para America Latina y el Caribe, Santiago, Chile. 48 pp.

de Oliveira Dias, V.; A. dos Santos Alonçol; U. Benedetti Baumhardt; G.J. Bonotto. 2009. Distribuição de sementes de milho e soja em função da velocidade e densidade de semeadura. *Ciência Rural* 39(6):1721-1728 ISSN 0103-8478

Dos Santos S.R.; J.O. Pereira; P. Weirich Neto; E. Fey. 2003. Espaço livre entre orifícios de discos dosadores e sementes de milho na eficiência de semeadura. *Engineering Agriculture* 23(2):300-308.

Endrerud, H.C. 1999. Influence of tube configuration on seed delivery to a coulter. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 74:177-184

Erbach, D.C.; R.M. Cruse; T.M. Crosbie; D.R. Timmons; T.C. Kaspar; K.N. Potter. 1986. Maize response to tillage-induced soil conditions. *Trans. ASAE* 29:690-695

Fallahi, S.; M.H. Raoufat. 2008. Row-crop planter attachments in a conservation tillage system: A comparative study. *Soil & Tillage Research* 98:27-34

Fey K.; E. Fey. 2001. Efeito do espasamento entre linhas e da populacao de plantas no rendimento de milho (*Zea mays* L). XXX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA 2001). Foz do Iguacu. Paraná. Brasil

Fornstrom K.; S.D. Miller. 1989. Comparison of sugar beet planters and planting depth with two sugar beet varieties. *Journal of America of Sugar Beet Technologist* 26(3-4):10-16

Garcia, L.C.; R. Jasper; M. Jasper; A.J. Fornari; J. Blum. 2006. Influência da velocidade de deslocamento na semeadura do milho. *Eng. Agríc.* 26(2):520-527

Hatfield, J. 2000. Precision agriculture an environmental quality: Challenges for research and education. National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service, USDA, Ames. Iowa. Disponible en: <http://www.arboday.org/programs/Papers/PrecisAg.PDF>

ISTA. 2006. International Rules of Seed Testing. Zürich, Switzerland. 153 pp.

ISO. 1984 Sowing Equipment. Test methods. Part I: Single seed drills (Precision Drills), 7265/1. International Organization for Standardizations. Geneva, Switzerland.

Jasper, R.; U. Janszen; M. Jasper; L.C. Garcia. 2006a. Distribuição longitudinal e germinação de sementes de milho com emprego de tratamento fitossanitário e grafite. *Eng. Agríc.* 26(1):292-299

Jasper, R.; M. Jasper; L.C. Garcia. 2006b. Seleção de sementes de milho durante a simulação da semeadura com disco perfurado horizontal. *Eng. Agríc.* 26(2):434-441

Kachman, S.D.; J.A. Smith. 1995. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. *Trans. ASAE* 38(2):379-387

Karayel, D. 2009. Performance of a modified precision vacuum seeder for no-till sowing of maize and soybean. *Soil and Tillage Research* 104(1):121-125

Karayel, D.; Z.B. Barut; A. Ozmerzi. 2004. Mathematical modelling of vacuum pressure on a precision Seeder. *Biosystems Engineering* 87(4):437-444

Karayel, D.; A. Özmerzi. 2007. Comparison of vertical and lateral seed distribution of furrow openers using a new criterion. *Soil and Tillage Research* 95:69-75

Karayel, D.; A. Özmerzi. 2002. Effect of tillage methods on sowing uniformity of maize. *Canadian Biosystems Engineering* 44:23-26

Kepner, R.A.; Bainer, R.; Barger, E.L. 1982. Crop planting. In: Principles of farm machinery. 3rd Edition. AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut. USA. p 209-236

- Klenin, N.I.; I.F. Popov; V.A. Sakum.**1986a. Filling of disk feeder cells. Chapter 11:Sowing and planting operations. In: Agricultural Machines: Theory of operations, computation of controlling parameters and the conditions of operation. Ed. A.A. Balkema/Rotterdam.p 136-139
- Klenin, N.I.; I.F. Popov; V.A. Sakum.**1986b. Seed drill tubes and their influence on sowing. Chapter 11:Sowing and planting operations. In:Agricultural Machines: Theory of operations, computation of controlling parameters and the conditions of operation. Ed. A.A. Balkema/Rotterdam. p147-149
- Kushwaha R.I.; V.S. Vaishnav; C.C. Zoerb.**1986. Soil bin evaluation of disc coulters under no till crop residue conditions. Transactions of the ASAE 29(1): 40–44
- Lauer, J.G.; M. Rankin.** 2004. Corn response to within row plant spacing variation. Agron. J. 96:1464–1468
- Liu, W.; M. Tollenaar; G. Stewart; W. Deen.**2004a. Response of corn grain yield to spatial and temporal variability in emergence. Crop. Sci. 44:847-854
- Liu, W.; M. Tollenaar; G. Stewart; W. Deen.**2004b.Within-row plant spacing variability does not affect corn yield. Agron. J. 96:275-280
- Liu, W.; M. Tollenaar; G. Stewart; W. Deen.**2004c.Impact of planter type, planting speed, and tillage on stand uniformity and yield of corn. Agronomy Journal 96:1668-1672
- Maddonni, G.A.; M.E. Otegui; A.G. Cirilo.**2001. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize architecture and light attenuation. Field Crops Res. 71:183-193
- Mangas, P.; J.M. Ressia; G. Mendivil; R.H. Balbuena.** 2009. Uniformidad en el establecimiento del cultivo de maíz (*Zea mais* L.) en distintos sistemas de labranza. En Actas del X Congreso de Ingeniería Rural y II del MERCOSUR. 1ra Ed. UNR Editora. p 664-671 (en CD-ROM) ISBN 978-950-673-748-1
- Maleki, M.R.; H. Ramona; J. De Baerdemaekera; A.M. Mouazenc.**2008. A study on the time response of a soil sensor-based variable rate granular fertiliser applicator. Biosystems engineering 100: 160-166
- Maleki, M.R.; J.F. Jarafi; M.H. Raufat; A.M. Mouazen; J. De Baerdemaeker.** 2006. Evaluation of seed distribution uniformity of a multi-flight auger as a grain drill metering device. Biosystems Engineering 94(4):535-543
- Maroni J. y R. Medera.** 1990. Siembra de precisión en soja. Resúmenes del I Congreso Argentino de Ingeniería Rural. UADE. Buenos Aires. 8 pp.
- Maroni, J.; A. Gargicevich; C. Gonzáles.**2001. Comportamiento de las sembradoras para maíz de la región maicera argentina. VII Congreso Nacional de Maíz. Pergamino, Buenos Aires, Argentina.
- Morrison, J.E.; T.J. Gerik.**1985. Planter depth control: II. Empirical testing and planter responses. Trans. of the ASAE 28(6):1744-1748
- Marques da Silva, J.T.; J.M.C.N. Soares.**2000. Description standards of primary tillage implements. Soil and Tillage Research 57:173-176
- Mendenhall, W.** 1988. Estadística para administradores. Capítulo 16: Control de calidad. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 699 pp. ISBN: 0-534-91488-8
- Mello, A.J.R.; Furlani, C.E.A.; Silva, R.P.; Lopes, A.; Borsatto, E.A.** 2007. Produtividade de híbridos de milho em função da velocidade de semeadura. Engenharia Agrícola 27(2):479-486 ISSN 0100-6916
- Merotto Junior, A.; Sangoi, L.; Ender, M.; Guidoli, A.F.; Haverroth, H.S.** 1999. A desuniformidade de emergência reduz o rendimento de grãos do milho, principalmente em alta população de plantas. Ciência Rural 29(4):595-601
- Mohsenin, N.N.** 1986. Chapter 3. Physical characteristics. In: Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publisher Inc. 2^{da} Ed. p 86. ISBN 0-677-21370-0
- Nafziger, E.D.; P.R.Carter; E.E. Graham.**1991. Response of corn to uneven emergence. Crop. Sci. 31:811-815

- Nielsen R. L.** 1993. Stand establishment variability in corn. AGRY-91-01 Agronomy Department. Purdue University, Indiana, USA. 7 pp.
- Özmerzi, A.; D. Karayel; M. Topaki.** 2002. Effect of sowing depth on precision seeder uniformity. *Biosystems Engineering* 82(2):227-230
- Prado, R.M.; J.M. Torres; G.M. Roque; O. Coan.** 2001. Semente de milho sob compressão do solo e profundidade de semeadura: Influência no índice de velocidade de emergência. *Scientia Agrária* 2(1):45-49
- Raoufat M.H.; R.A. Mahmoodieh.** 2005. Stand establishment responses of maize to seedbed residue, seed drill coulters and primary tillage systems. *Biosystems Engineering* 90 (3): 261–269
- Satorre, E.H.; R.L. Benech Arnold; G.A. Slafer; E.B. de la Fuente; D.J. Miralles; M.E. Otegui; R. Savín.** 2004. Distancia entre hileras y arreglo espacial. En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía UBA. Buenos Aires. p. 305-309
- Smith, H.P.** 1967. Máquinas sembradoras. En: Maquinaria y equipo agrícola. Ed. Omega. Barcelona, España. p 207.
- Staggenborg, S. A.; R. K. Taylor; L. D. Maddux.** 2004. Effect of planter speed and seed firmers on corn stand establishment. *Applied Engineering in Agriculture* 20(5):573-580
- Soza, E.L.; M.C. Tourn; E. Croce; J. Smith; M. Amado.** 1998. Metodología para la determinación del daño a la semilla provocada por dosificadores de sembradoras. IAMFE/ARGENTINA 98. Conferencia regional latinoamericana de técnicas y equipamientos para ensayos de campo. Anales: 101-105
- Srivastava A., G. E. Goering y R. P. Rotirbad.** 1993. Engineering principles of agricultural machines. Ed. American Society of Agricultural Engineers. 601 pp.
- Rosolem; C.A.; E.M. Fernandez; M. Andereotti; C.A. Costa Cruciol.** 1999. Crecimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. *Pesq. Agropec. Bras.* 34(5): 821-828
- Tesouro, M.O.; A. Romito; L.B. Donato; N. González; J. Elisei; D. Paredes; M. Roba.** 2009. Evaluación de las características de la siembra de maíz en el área de influencia de la EEA Pergamino (Buenos Aires). En Actas del X Congreso de Ingeniería Rural y II del MERCOSUR. 1ra Ed. UNR Editora. p 64-68 (en CD-ROM) ISBN 978-950-673-748-1
- Tice E.M.; J.G. Hendrick.** 1992. Disc coulters operating characteristics. *Transactions of the ASAE* 35(1):3-10
- Tschiedel, M.; M.F. Ferreira.** 2002. Introdução à agricultura de precisão: conceitos e vantagens. *Ciência Rural* 32(1):159-163. ISSN 0103-8478
- Tourn, M.** 2005. La dosificación por expulsión forzada y el daño a la semilla de trigo y soja: un análisis de las causas que lo originan. Tesis para optar al grado de *Magíster Scientiae* en Ingeniería Rural con mención en el área de Mecanización Agraria. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata. 92 pp.
- Tourn, M; G. Botta; E. Soza.** 2006. La dosificación por expulsión forzada y el daño a la semilla: una revisión. *Revista de la Facultad de Agronomía. UBA.* 26(3):251-261
- Tourn, M.; L. Larrosa; E. Soza; J. Smith.** 1996. Cuantificación de la eficiencia de implantación en la siembra directa de maíz (*Zea mays* L.). Memorias del IV Congreso Argentino y II Internacional de Ingeniería Rural. Neuquén, Argentina. 165-168
- Tourn, M.; E. Soza; G. Botta; A. Mete.** 2003. Direct corn seeding. Effect of residue clearance on implant efficiency. *Span. J. Agricult. Res.* 1
- USDA,** 2006. Keys to soil taxonomy. Tenth Edition. United States Department Agriculture. 341 pp.
- Valentinuz, O.; C.L. Di Orio; S. Cebada.** 2007. Velocidad de siembra y desuniformidad espacial en dos híbridos de maíz. INTA EEA Paraná. Serie extensión N° 44.

Vetsch, J.A.; G.W. Randall. 2000. Enhancing no-tillage systems for corn with starter fertilizers, row cleaners, and nitrogen placement methods. *Agron. J.* 92:309–315

Wanjura, D.F.; E.B.Hudspeth. 1968. Metering and seed-pattern characteristics of a horizontal edge-drop plate planter. *Trans. of the ASAE* 11(4):468-469;473